
Représentation de pratiques dans le formalisme des graphes contextuels

Patrick Brézillon

LIP6, case 169, Université Paris 6

Patrick.Brezillon@lip6.fr

RÉSUMÉ

La distinction entre une tâche prescrite et une tâche effective est bien connue (Leplat, 1985) mais sans effet notoire dans la conception des logiciels. Une première raison est que, pour une tâche prescrite, on peut observer autant de tâches effectives qu'il y a d'opérateurs accomplissant la tâche prescrite. Une deuxième raison est que la dimension contextuelle de la tâche n'est pas prise en compte explicitement dans les approches classiques. Dans le cadre de l'intelligence artificielle, nous présentons une modélisation du contexte et une implémentation sous forme de graphes contextuels pour représenter les tâches effectives que nous appelons pratiques. Les graphes contextuels permettent de prendre en compte la distinction entre les procédures officielles (les tâches prescrites) et les pratiques (les tâches effectives) qui sont considérées comme de véritables procédures contextualisées. Des systèmes informatiques basés sur ce formalisme offrent l'opportunité de donner un sens pratique à des concepts tels que ceux de schèmes d'action, de "mémoire d'entreprise", "méta-procédures" et de systèmes d'assistance intelligents basés sur le contexte.

MOTS-CLÉS

Intelligence artificielle, Décision, Graphe contextuel, procédure, pratique

1 INTRODUCTION

Il y a maintenant une communauté internationale bien établie qui s'intéresse à la notion de contexte, avec un site web¹, une liste de diffusion et une série de conférences internationales et interdisciplinaires. C'est au sein de cette communauté qu'a été réalisé le projet SART² (Brézillon, Calvacanti, Naveiro et Pomerol, 2000). Le but de ce projet était le développement d'un système d'assistance intelligent basé sur le contexte pour aider le responsable d'une ligne de métro (à Paris et à Rio de Janeiro) en situation d'incident. Un premier résultat de ce projet fût l'établissement d'un formalisme pour la représentation basée sur le contexte des connaissances et du raisonnement appelé graphes contextuels (Pasquier, Brézillon et Pomerol, 2003). Un second résultat est l'intégration au sein d'un même graphe contextuel d'une procédure officielle (pour résoudre un incident) et toutes les pratiques développées par les opérateurs à partir de cette procédure. Une pratique est une manière d'atteindre l'objectif de l'entreprise en transformant la procédure pour prendre en compte le contexte d'application de la pratique. En ce sens, une pratique est une contextualisation de la procédure officielle. Un troisième résultat concerne les capacités naturelles d'apprentissage, d'acquisition incrémentale de connaissances et de génération d'explications. Cependant, cette approche ne prend pas en compte totalement l'environnement (comme, par exemple, le tableau de commande optique).

En parallèle à cette communauté, principalement intéressée par la compréhension de l'activité de l'utilisateur et les aspects théoriques du contexte, il existe une autre communauté plus orientée vers les aspects pratiques du contexte à partir de données directement issues de capteurs (localisation, température) ou d'un premier niveau d'interprétation de ces données (25°C est chaud à Paris et froid à Rio de Janeiro). Les applications développées dans cette communauté se veulent sensibles au contexte (*context-aware applications*) et concernent des domaines aussi variées que le tourisme et la "e-maintenance". Dans le cas du tourisme, l'idée est de fournir des informations temps réel, le contexte étant alors limité à des données quantitatives issues de l'environnement du touriste. Les interactions entre le touriste et l'application sensible au contexte peuvent se faire au

¹ Voir à: <http://context.umcs.maine.edu/>

² Voir à <http://www.lip6.fr/SART/>

moyen d'un téléphone cellulaire, un PDA, une borne d'information, une radio FM. Les faiblesses présentées par cette approche sont de trois types : (1) le contexte est limité aux données quantitatives de l'environnement qui sont récupérables par l'intermédiaire de capteurs, et la modélisation de l'utilisateur reste très frustrante, (2) la seule dynamique du contexte réside dans l'occurrence d'événements (plus ou moins incontrôlables) dans l'environnement, et (3) si les travaux dans la communauté précédente sont "centrés utilisateur", ceux qui sont dans cette communauté sont "centrés équipement".

Aucune de ces deux approches n'est totalement satisfaisante, et il est nécessaire de trouver une généralisation qui subsume les avantages des deux approches en évitant leurs faiblesses respectives. Nous défendons donc en cela une position proche de celle de Dourish (2001) qui propose un concept de personnification (*embodiment*) pour allier l'informatique tangible et l'informatique sociale. Ceci suppose que l'on soit capable de gérer : des informations qui évoluent dans le temps (comme le temps de la visite d'un château par rapport aux horaires des visites) ; des informations provenant de sources diverses et hétérogènes (par exemple, la météo, la presse, les hôtels avec des chambres de libres) ; des connaissances sur les utilisateurs en général et sur un utilisateur spécifique (comme ses préférences artistiques, son profil tel que celui-ci peut être perçu par le système à travers ses actions) ; des logiciels comprenant une partie centralisée (en lien avec une base de données commune) et une partie mobile qui suit l'utilisateur dans ses déplacements ; et les interactions entre divers équipements. L'explicitation du contexte, à notre sens, permet de faire face à de tels challenges en proposant une utilisation des connaissances dans leur domaine de validité, une modélisation du contexte de l'utilisateur, d'une requête, etc.

La suite de ce papier est organisée de la manière suivante. Dans la section 2, nous présentons différents points de vue sur le contexte. Le besoin de centrer l'étude du rôle du contexte pour l'utilisateur est discuté dans la section 3 par rapport à la tâche de planification et exécution de plans, et par rapport à la distinction entre procédure et pratique. Ensuite les différentes manières d'explicitier le contexte sont présentées dans la section 4. Nous présentons ensuite dans la section 5 les propriétés des graphes contextuels pour représenter connaissances et raisonnements. Finalement, la section 6 discute différents challenges pour prendre en compte à la fois une modélisation du contexte et les applications sensibles au contexte.

2 POINTS DE VUE SUR LE CONTEXTE

On trouve dans la littérature différents points de vue sur le contexte : un moteur conceptuel, une couche interface pour les applications, une entrée implicite pour les applications, un médium de représentation des connaissances et du raisonnement, l'environnement du focus d'attention, etc. Il semble y avoir différents types de contexte dont un seul est d'intérêt : le contexte des interactions entre deux agents (au sens large du terme, humain ou machine) car c'est dans ce contexte que semblent évoluer les autres contextes (Cahour et Karsenty, 1993).

Dans la communauté Interface Homme-Machine, on définit le contexte à partir de caractéristiques qui peuvent être utilisées pour définir et interpréter une situation dans laquelle un utilisateur interagit avec une application à un moment donné. Dans le domaine des applications sensibles au contexte (*context-aware systems*), Dey et Abowd (1998) définissent le contexte comme toute information qui caractérise une situation ayant quelque chose à voir avec l'interaction entre des humains, des applications, et l'environnement immédiat. En intelligence artificielle, Brézillon (1999) définit le contexte comme ce qui n'intervient pas explicitement dans la résolution d'un problème mais contraint cette résolution. Toutes ces définitions sont assez voisines et ne diffèrent généralement que par leur contexte d'utilisation.

Un fait n'est pas significatif en soi, mais acquiert une signification dans le contexte de la personne qui l'utilise en prenant en compte ce qui intervient à cet instant. En conséquence, différents types de contexte émergent, comme le contexte physique (l'informatique ambiante), le contexte computationnel qui est modifié par les notions d'individu et de groupe (l'informatique écologique), et le contexte situé. Dans les applications dédiées au tourisme, l'objectif est de fournir au touriste des informations en temps réel. Ces informations portent sur l'environnement immédiat du touriste (comme le plan de l'étage où se trouve le touriste au musée), le moment auquel il envoie sa requête, des facteurs externes (comme la météo et les manifestations en cours), et surtout l'intérêt immédiat du touriste (voire du groupe de touristes). De telles informations sont dites informations contextuelles parce qu'elles n'interviennent pas directement dans la requête du touriste mais vont contraindre la réponse qui lui sera donnée.

Les systèmes utilisant de telles informations contextuelles dans leurs actions sont appelés systèmes sensibles au contexte (*context-aware systems*) parce que leur efficacité repose essentiellement sur des aspects quantitatifs du contexte (comme la localisation de l'utilisateur et la météo). Par exemple, un système sensible au contexte peut proposer à un touriste la visite d'un château qui se trouve à 10mn de là où est le touriste. Si celui-ci signale au système qu'il est fatigué ou que le système détecte spontanément que la météo va changer et qu'il va pleuvoir dans moins

de 10mn, alors le système peut changer ses plans et proposer une alternative par le bus, en fournissant les informations complémentaires sur où prendre le bus, acheter le ticket et l'heure de passage du prochain bus. Ceci montre que le contexte possède une dimension dynamique et que le système doit pouvoir se mettre dans un état de veille attentive tout au long de l'exécution de la tâche de l'utilisateur afin de réagir à cette dynamique du contexte.

Un environnement intelligent sensible au contexte est un espace qui possède une sensibilité (contextuelle) à ses utilisateurs et la capacité de maintenir des interactions consistantes et cohérentes entre eux au travers d'un grand nombre de matériels hétérogènes. Plus particulièrement, la communauté s'intéressant aux systèmes sensibles au contexte reconnaît quatre méthodes primaires d'utilisation d'informations contextuelles : pour trouver des références, gérer des listes d'options, provoquer des comportements automatiques et marquer des informations pour leur récupération ultérieure. De plus, la sensibilité au contexte suppose que le système soit doté de deux attributs : la capacité à obtenir un état du contexte courant et celle d'utiliser les informations contextuelles le composant. Par exemple, un système peut connaître la localisation de l'utilisateur sans savoir ce qu'il y fait. La portée de ces systèmes est fortement limitée par leur faible considération pour le contexte.

3 NECESSITE D'UNE APPROCHE CENTREE UTILISATEUR

Les besoins d'un utilisateur sont souvent intangibles, dépendant des habitudes, et même provenant de motivations assez lointaine comme le fait qu'une personne est plus active le matin que l'après-midi. La conception d'un système doit ainsi se focaliser sur la réduction des barrières de la communication en analysant ce qui peut être connu à propos d'un utilisateur, et comment de telles informations peuvent faciliter la tâche de l'utilisateur sur la base de modèles. L'utilisateur joue un rôle actif dans la définition du contexte auquel le système est sensible. Dans cette section, nous discutons de deux types d'activité menées par des opérateurs, c'est-à-dire le besoin de mener de front l'élaboration et l'exécution d'un plan, et la différence entre la procédure officielle et les nombreuses pratiques que les opérateurs peuvent construire à partir de chaque procédure. Cette section se termine par un résumé des leçons retenues.

3.1 Élaboration et exécution d'un plan

De nos jours, on observe que l'accomplissement de tâches dans de nombreux domaines requière la multiplication et la spécialisation des procédures utilisées. Nous l'avons montré dans le domaine du métro (Brézillon, Gentile, Saker et Secron, 1997). En aéronautique, les opérateurs adaptent les procédures à la situation. De Brito et Boy (1999) montrent que les régulateurs de trafic aérien préfèrent refaire une planification de leurs actions au lieu de suivre des procédures mal adaptées, même si le nouveau plan s'inspire de ces procédures. Britanik et Marefat (1999) proposent aussi une méthodologie basée sur la notion de fragments de plans partiellement ordonnés. Cette dernière approche est une manière d'associer étroitement plans et actions. Hayes-Roth et Hayes-Roth (1979) proposent pour leur part une approche opportuniste de la planification. Cette planification non hiérarchique suppose qu'un plan est exécuté avec l'aide d'un tableau noir mental où les informations, éléments pertinents et sous-buts éventuels sont stockés. Ces auteurs montrent que la planification est réalisée de manière asynchrone et est déterminée par les aspects momentanés du problème.

Xiao, Milgram et Doyle (1997) présentent une étude sur le travail des anesthésistes pour lesquels chaque patient peut représenter un plan particulier et spécifique. Il existe donc peu de procédures bien définies stipulées soit par la communauté des anesthésistes, soit par des agences de contrôle externes. Les auteurs mettent en évidence que le processus de planification ne peut être que fragmentaire et non exhaustif. L'application d'un plan à un problème concret, les actions situées réalisées dans l'activité sont souvent le reflet du plan, mais sont ajustées aux détails concrets et aux conditions du contexte de la situation.

La même conclusion est également observée dans d'autres domaines par Hoc (1996), Debenham (1997) et Bainbridge (1997). La principale raison est la difficulté d'explicitier les relations entre le système et son environnement lorsque ce dernier change de manière dynamique. Bardram (1997) parle même de planification située et d'autres de planification opportuniste, réactive, etc. Dans une application pour le contrôle aérien, Degani et Wiener (1997) montrent que la phase de descente d'un avion est hautement contextuelle à cause de l'incertitude sur l'environnement (par exemple, contrôle du trafic aérien, météo), rendant cette approche assez résistante à une procéduralisation. Hollnagel (1993) propose un modèle de contrôle contextuel qui distingue entre un modèle de compétence (actions, heuristiques, procédures, plans) et un modèle de contrôle (mécanismes de construction d'une séquence d'actions en contexte), ces deux modèles étant fortement influencés par le contexte (compétences, connaissances, éléments clés de l'environnement, etc.).

Il y a des domaines, comme les projets industriels, dans lesquels on ne connaît pas à l'avance la structure du produit parce que cette structure est progressivement spécifiée lors de l'activité de conception. Cela signifie qu'une part importante des activités de planification ne peut seulement être exécuté qu'après le début d'activités de conception (un problème classique de "bootstrap" dans d'autres domaines). Toutefois, ces activités de planification doivent être établis dès le départ, et il existe donc une interaction entre le processus de conception qui vise à raffiner l'objectif du projet, et le processus de planification qui maintient la cohérence des activités avec l'objectif.

Une solution pour pallier l'impossibilité d'une planification complète a priori est l'acquisition de compétences pour anticiper (dans le sens de "look-ahead" dans Pomerol, 1997). Pour Hoc (1996), le mode anticipatif est le mode usuel de fonctionnement chez l'homme car l'opérateur humain est toujours en état de validation, de manière plus ou moins explicite, d'hypothèses au lieu de rester passif dans une situation de découverte ou de surprise. Un système anticipatif pourrait être un système qui utilise une certaine forme de connaissances sur les états futurs (par simulation) pour décider des actions à réaliser à l'instant courant. Ekdahl, Astor et Davidsson (1995) suggèrent qu'un tel système anticipatif ait un modèle de lui-même et de la partie de l'environnement pertinente afin de pouvoir simuler les conséquences des actions potentielles. Le système utilise alors la prédiction pour déterminer son comportement, c'est-à-dire l'état futur pour influencer sur les états présents. Un système intelligent doit être capable de prédire ce qui devrait probablement arriver et de s'auto-adapter en vue d'un événement crucial ou critique. Ceci implique qu'un système intelligent doit être équipé d'un module de simulation.

3.2 Procédures et pratiques

Degani et Wiener (1997) font une distinction entre les procédures, les pratiques et les techniques. Les procédures sont spécifiées a priori par les développeurs afin de gagner du temps durant les situations critiques. Les pratiques englobent ce que les utilisateurs font avec ces procédures. Idéalement, procédures et pratiques devraient être les mêmes. Toutefois, il arrive fréquemment que les utilisateurs fassent dévier leurs pratiques des procédures, même si la procédure est impérative et obligatoire. Les techniques sont définies comme des méthodes personnelles pour accomplir des tâches précises sans violation des contraintes procédurales. Les techniques sont développées par les utilisateurs comme part de leur expérience. L'acquisition des connaissances se concentre sur les procédures, éventuellement sur les pratiques, mais très rarement sur les techniques. Par ailleurs, Forslund (1995) montre que dans la plupart des applications de taille réelle, un décideur doit faire face à des situations mal définies où la forme de l'argumentation est aussi, sinon plus, importante que la proposition explicite de décision. Ceci montre l'intérêt de retenir les avantages et les inconvénients du processus de prise de décision plutôt que la seule décision finale.

La médecine est aussi un domaine où, d'une part, la distinction entre procédure et pratique, et, d'autre part, la notion de contexte sont très importantes. Une pratique est considérée comme une sorte d'explication causale dans la résolution d'un problème. Ceci est clairement montré dans le système ABEL (Patil, Szolovits et Schwartz, 1981) où est développé un modèle spécifique d'un patient donné, comme dans l'approche « modèle spécifique d'une situation » proposée par Clancey (1992) dans le cadre du diagnostic. Dans le système ABEL, une explication causale est représentée comme un graphe en cinq couches contenant les principales découvertes, désordres et leurs relations causales ou de catégorisation qui sont supposés être présent chez le patient particulier qui est diagnostiqué. De tels modèles spécifiques sont des arguments causaux ayant la structure d'une preuve (comme la résolution effective d'un problème dans notre cas). Toujours en médecine, Bouaud, Séroussi et Antoine (1999) décrivent ce type d'opérationnalisation des connaissances lors du passage d'une procédure à une pratique quand un médecin généraliste différencie des choix thérapeutiques pour un diagnostic selon l'instanciation du contexte clinique courant qu'il construit à partir de sa perception du patient. Strauss, Fagerhaugh, Suczek et Wiener (1985) donnent un exemple d'une planification pour un patient atteint d'ostéoarthrite, planification qui stipule la nécessité d'une radiographie. Toutefois dans le cas du patient ostéo-arthritique M. Jones, qui n'a jamais eu de problème avec sa hanche, cette partie du plan peut donc être évité. À l'inverse, d'autres examens, comme une analyse du sang, peuvent être ajoutés à la planification de M. Jones. Ainsi, un protocole médical est une procédure d'opérations standard qui doit être adaptée au contexte de chaque patient.

Dans les processus de haute technologie et hautement dynamiques, les opérateurs qui sont chargés de contrôler un processus, doivent être capables de réagir rapidement. Si un incident survient, ils n'ont bien souvent que quelques minutes (voire secondes) pour se faire une représentation (mentale) du problème, collecter les informations sur la situation, analyser l'incident et entreprendre les actions correctives. Pour faciliter leur travail, beaucoup de compagnies ont établi des procédures sur la base des expériences accumulées. Ces procédures générales ont été conçues pour fournir aux opérateurs une référence sûre pour résoudre les problèmes connus.

Cependant, la dimension contextuelle est absente de ces procédures générales afin de traiter une plus large classe de problèmes, avec la conséquence de ne plus pouvoir décrire précisément chaque cas particulier. Les compagnies cherchent maintenant à introduire cette dimension contextuelle, non par une réelle modélisation du contexte, mais par une diversification extensive de ces procédures basées sur des considérations contextuelles croissantes en nombre. Mais il ne s'agit que d'une multiplication et spécialisation de procédures.

Dans l'application SART (Brézillon, Cavalcanti, Naveiro et Pomerol, 2000), les procédures sont basées sur les pratiques développées au long des années, mais avec l'élimination de la plupart des informations contextuelles et spécificités de chaque incident. Le développement de procédures trop générales conduit à développer des solutions qui ne sont pas optimales pour résoudre les problèmes. En ce sens, les procédures sont un guide utile pour les opérateurs, mais elles doivent être adaptées dans le cas de chaque situation. Inversement, chaque opérateur développe ses propres pratiques pour résoudre un incident selon le contexte où survient l'incident, et l'on observe ainsi pour chaque procédure presque autant de pratiques qu'il y a d'opérateurs parce que chaque opérateur adapte finement la procédure pour prendre en compte le contexte courant, contexte particulier et spécifique. Il y a deux raisons principales pour procéder de cette manière. Premièrement, la procédure sélectionnée n'est pas toujours adaptée à la situation courante et peut conduire l'opérateur à prendre des actions inadéquates ou appliquer des stratégies de résolution qui ne soient pas optimales. Deuxièmement, si l'opérateur se repose aveuglément sur une procédure, il peut manquer des faits importants ou les remarquer trop tard pour réagir de manière adéquate. Pour cela, les opérateurs préfèrent généralement replanifier leurs actions continûment afin de mieux prendre en compte les particularités de la situation. Les procédures sont alors utilisées comme des cadres de références pour construire une stratégie pertinente pour la situation particulière.

3.3 Leçons apprises dans l'approche centrée utilisateurs

La modélisation du raisonnement d'un opérateur est une tâche difficile parce que les opérateurs utilisent de nombreux éléments contextuels pour prendre leur décision dans la résolution d'incidents complexes, type de résolution possédant un grand nombre de degrés de liberté. Comme telles, les pratiques sont ce que nous appellerons dans la suite les contextes procéduralisés. Ces connaissances, qui ne sont pas nécessairement exprimées explicitement, résultent plus ou moins en des actions procéduralisées qui sont compilées avec les connaissances contextuelles significatives qui leur correspondent. Très souvent beaucoup d'éléments du contexte procéduralisé sont structurés en un ensemble compréhensible à propos des actions. En conséquence : (1) les plans doivent être combinés avec les actions dans une représentation cohérente dans des structures de type diagnostic/action, (2) La notion d'optimalité d'une solution est fortement dépendant du contexte du problème à résoudre, (3) outre les raisons qui ont conduit au choix d'une solution, il est important de conserver une trace des solutions alternatives qu'il y avait et des raisons de leur rejet.

4 EXPLICITER LE CONTEXTE

L'utilisation de la notion de contexte dans un logiciel demande tout d'abord l'explicitation du contexte, mais très peu d'applications de taille réelle le font. Turner (<http://cdps.umcs.maine.edu/orca.html>) développe une telle approche dans le projet ORCA pour des robots sous-marins, et Chen et Kotz (<http://citeseer.nj.nec.com/390713.html>) donnent une étude sur les agents mobiles sensibles au contexte. Toutefois, ces deux travaux ne considèrent le contexte qu'à travers la localisation et la datation. Pasquier, Brézillon et Pomerol (2003) proposent une représentation basée sur le contexte des connaissances et du raisonnement pour développer un système d'aide à la gestion d'incident sur une ligne de métro (<http://www.lip6.fr/SART/>). Dans cette application, le contexte est fortement relié au raisonnement humain et à différents types de connaissances.

4.1 Donnée, information et connaissance

Les connaissances sont généralement définies par une construction progressive à partir des données, qui sont les symboles perçus par un sujet que ces données soient déjà structurées par un capteur ou par la machine qui les traite. Des données émergent les informations qui sont des données avec un fort contenu sémantique. Ainsi, les informations sont des données structurées avec une signification. Quand une personne transforme une donnée en information, cette transformation dépend des connaissances contextuelles que la personne possède (Leplat, 1985). La transformation suivante est le passage des informations aux connaissances. Ce processus d'appropriation repose sur des connaissances précédemment acquises et est rendu consistant avec les valeurs et croyances du sujet (Pomerol et Brézillon, 2001).

Ainsi, le rôle des connaissances est : (1) de transformer des données en informations, (2) de déduire de nouvelles informations à partir de celles qui sont existantes, et (3) d'acquérir de nouvelles connaissances. De cette manière, les connaissances sont à la fois un moyen et une fin dans ce processus complexe, les connaissances doivent être gérées comme des objets et comme des processus.

Outre leur génération, deux types de connaissances ont été plus particulièrement considérés, les connaissances explicites et tacites, les premières étant facilement partageables alors que les deuxièmes sont hautement personnelles.

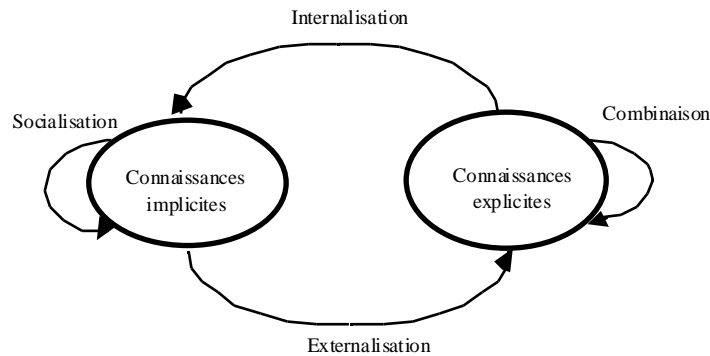


Figure 1: Mouvements entre les connaissances tacites et explicites

Entre ces deux classes de connaissances, Nonaka et Takeushi (1995) ont identifié quatre types d'échanges comme représenté dans la Figure 1 : la socialisation, l'externalisation, la combinaison et l'internalisation. La socialisation des connaissances réfère à la génération de nouvelles connaissances tacites à partir de connaissances tacites partagées. L'externalisation concerne la conversion de connaissances tacites en connaissances explicites. La combinaison de connaissances explicites aide les individus dans une organisation. L'internalisation prend place quand les connaissances explicites deviennent tacites d'une manière très proche de l'apprentissage.

Dans cette approche, la mémoire d'entreprise est transversale à cette décomposition avec une partie implicite et une autre explicite, l'ensemble étant partagé par tous les employés de l'entreprise. Le processus d'externalisation est particulièrement intéressant vis-à-vis du contexte car il correspond au processus de procéduralisation que nous avons introduit dans (Pomerol, Brézillon et Pasquier, 2002).

Ainsi, un système doit faire face à un océan de données (comme la localisation de l'utilisateur, l'heure la météo, etc.), d'informations (comme il doit pleuvoir dans 10mn), et de connaissances (comme l'utilisateur n'a pas pris son parapluie) à travers un réseau de bases de données hétérogènes. Devant faire face à un environnement évoluant dynamiquement, un système doit pouvoir donner une claire vue des données, informations, et connaissances à l'utilisateur à tout instant. Ces points constituent les questions centrales à traiter pour développer des systèmes d'assistance intelligents basés sur le contexte (Brézillon, Cavalcanti, Naveiro et Pomerol, 1997).

4.2 Identification du contexte

McCarthy (1993) définit le contexte comme la généralisation d'une collection d'hypothèses. Les contextes sont ainsi formulés comme des objets de première classe (des objets formels). La relation de base proposée par McCarthy postule qu'une proposition p est vraie dans un contexte c , où c suppose capturer tout ce qui n'est pas explicite dans p mais qui est requis pour faire de p un énoncé significatif pour représenter ce qu'il est supposé établir. Une telle relation de base est elle-même toujours donnée dans un contexte. Les conséquences sont qu'un contexte est toujours relatif à un autre contexte, que les contextes sont de dimension infinie, que les contextes ne peuvent donc pas être décrits complètement, et que lorsque plusieurs contextes surviennent dans une discussion, il y a un contexte commun au-dessus d'eux dans lequel tous les termes et les prédicats peuvent être mis.

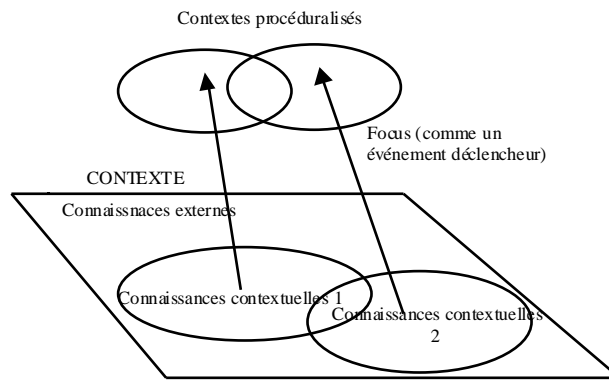


Figure 2: Les trois types de contexte

Brézillon et Pomerol (1999) distinguent, à une étape donnée d'un processus de décision ou de la réalisation d'une tâche, les connaissances pertinentes de celles qui ne le sont pas (Figure 2). Les premières sont appelées connaissances contextuelles et les autres les connaissances externes. Les connaissances contextuelles dépendent clairement de l'agent qui les possède et de la décision à élaborer. À une étape de la prise de décision, un sous-ensemble des connaissances contextuelles est procéduralisé, ce que nous appelons le contexte procéduralisé. Celui-ci est invoqué, structuré et situé par rapport à un focus d'attention donné (l'étape courante de la prise de décision). Il constitue un véritable *chunk of knowledge* (Schank, 1982). Ainsi, le contexte ne se distingue pas des autres objets du raisonnement, de l'apprentissage, etc., objets qui sont ou non dans le contexte courant selon les circonstances. La connaissance contextuelle est une connaissance d'arrière-plan alors que le contexte procéduralisé est utile immédiatement pour la tâche en cours d'accomplissement. Dans notre représentation du contexte, les connaissances contextuelles sont largement tacites parce qu'elles représentent ce que tout le monde connaît sans avoir besoin de l'exprimer.

Lorsque le processus de décision ou la réalisation de la tâche passe d'une étape à la suivante, il apparaît une dynamique du contexte qui est liée au mouvement entre les connaissances contextuelles et le contexte procéduralisé. D'une étape à la suivante, le contexte procéduralisé change, par exemple en y intégrant le résultat de la première étape. Le contexte procéduralisé précédent va alors dans le corps des connaissances contextuelles comme un tout (le *chunk of knowledge*) qui pourra être rappelé tel que ultérieurement. Une telle dynamique du contexte n'est pratiquement pas considérée dans la littérature, du moins de manière explicite.

4.3 Leçons apprises sur les liens entre le contexte et les connaissances

Les liens entre la notion de contexte et les connaissances sont étroits. Nous retiendrons pour notre propos ici que :

- Le contexte correspond à un statut des connaissances (les connaissances sont externes ou contextuelles, et ces dernières peuvent appartenir au contexte procéduralisé courant) ;
- Le contexte est toujours relatif à un focus d'attention (le contexte des interactions, par exemple) ;
- Le focus se déplaçant, le statut des connaissances change, ce qui entraîne une dynamique du contexte ;
- Les connaissances contextuelles ont une organisation centrée sur le focus d'attention et une granularité qui dépend de leur distance au focus d'attention.

5 REPRESENTATION DES CONNAISSANCES ET DU RAISONNEMENT

Nous présentons dans cette section les principaux résultats que nous avons obtenu dans le cadre de l'application SART (Brézillon, Cavalcanti, Naveiro et Pomerol, 2000) dont l'objectif était le développement d'un système d'assistance intelligent basé sur le contexte. Nous montrons néanmoins que ces résultats dépassent le seul cadre de l'application SART.

5.1 Une représentation des connaissances basée sur la métaphore de l'oignon

Nous avons proposé une modélisation des connaissances basée sur le contexte qui s'appuie sur la métaphore de l'oignon (Brézillon, Gentile, Saker et Secron, 1997). Selon cette métaphore, le contexte procéduralisé (le cœur de l'oignon), est entouré par les connaissances contextuelles qui se

présentent en couches autour du contexte procéduralisé (les peaux successives de l'oignon) Parmi les résultats les plus significatifs de ce travail, nous pouvons citer que :

- Chaque étape dans la résolution d'un problème prend un sens dans un contexte donné. Les connaissances contextuelles n'interviennent pas directement à cette étape, mais renforcent la justification de la résolution du problème à cette étape ;
- Les connaissances contextuelles peuvent être partiellement ordonnées en couches autour des connaissances utilisées à l'étape de la résolution du problème (le contexte procéduralisé) ;
- Une connaissance contextuelle prend elle-même une signification dans son propre contexte et le contexte a donc ainsi une dimension infinie comme souligné par McCarthy (1993) ;
- Les connaissances contextuelles relient entre-elles les résolutions d'incidents, expliquant ainsi comment certains incidents peuvent survenir simultanément ou que la présence d'un incident rend plus probable la présence d'un autre incident, comme cela a été d'ailleurs constaté par les opérateurs.

5.2 Une représentation du raisonnement basée sur les graphes contextuels

Brézillon, Pasquier et Pomerol (2001) et Pasquier, Brézillon et Pomerol (2003) montrent comment on passe de la représentation d'une résolution d'incident sous forme d'un arbre de décision à une représentation sous forme d'un graphe contextuel. Une branche (dans la représentation sous forme d'arbre ou de graphe) représente une pratique qui peut être considérée comme une contextualisation de la procédure officielle. Dans une telle pratique, le contexte est représenté principalement par une séquence ordonnée d'éléments contextuels répartis sur cette branche. Suivant la progression de la prise de décision, certains éléments contextuels sont instanciés, une action exécutée et l'élément contextuel instancié retourne alors dans l'ensemble des connaissances contextuelles.

Le passage d'un arbre de décision à un graphe contextuel a été motivé pour les raisons suivantes :

- Les opérateurs cherchent à collecter dans un premier temps des connaissances contextuelles, retardant par là-même l'exécution des actions (réalisation d'un diagnostic avant la prise de décision proprement dite) ;
- Des séquences d'actions récurrentes pouvaient être remplacées par des macro-actions ;
- La plupart des branches se terminant par la même feuille (retour le plus rapidement possible à une exploitation normale), il était possible de fusionner rapidement les branches dont les séquences finales étaient identiques (ces séquences représentant généralement des sous-procédures bien établies) ;
- La fusion de deux branches signifie que l'instanciation de l'élément contextuel n'a plus d'importance une fois l'action sur une des branches de l'élément contextuel accomplie (la connaissance contextuelle correspondante migre alors du contexte procéduralisé dans l'ensemble des connaissances contextuelles) ;
- Il a été possible d'identifier de mêmes activités dans différents graphes contextuels (différentes résolutions de problème), ce qui permet d'organiser les graphes contextuels en hiérarchies de sous-graphes à différents niveaux de granularité ;
- Afin d'alléger la représentation, des groupements d'actions parallèles ont été introduit afin de représenter des activités qui pouvaient être réalisées dans un ordre ou un autre, ou en parallèle, mais qui devaient toutes être exécutées avant la poursuite du processus de prise de décision.

La Figure 3 donne un exemple de graphe contextuel où les ronds représentent les éléments contextuels (grand rond pour un nœud contextuel et petit rond pour un nœud de recombinaison), les actions (les carrés), les macro-actions (les rectangles) et un groupement d'actions parallèles (entre les barres verticales). Les graphes contextuels sont discutés dans (Brézillon, 2003a).

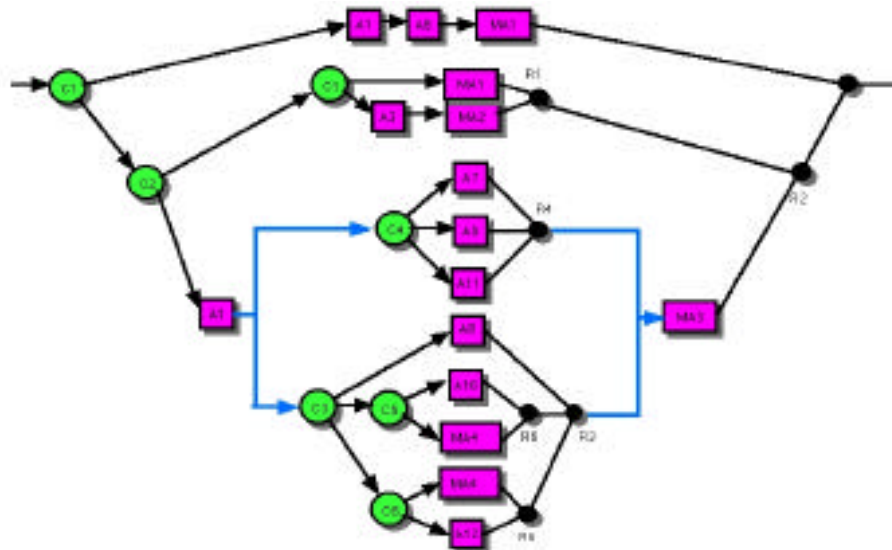


Figure 3 : Un exemple de graphe contextuel

Le changement de structure d'arbre en graphe permet de mettre en évidence la dynamique du contexte entre les connaissances contextuelles et le contexte procéduralisé. Un élément contextuel comprend un nœud contextuel et un nœud de recombinaison. Le nœud contextuel permet de distinguer différents contextes (justifiant des pratiques différentes dans la prise de décision par suite d'instanciations différentes de l'élément contextuel). Un nœud de recombinaison ramène les différentes variantes à une même situation à partir de laquelle la distinction entre les instanciations de l'élément contextuel n'a plus lieu d'être. Ainsi, le contexte procéduralisé correspond à la suite de nœuds contextuels qui ont été instanciés car traversés par la pratique exécutée, et les connaissances contextuelles sont les éléments contextuels qui ne sont pas instanciés lors de l'application de la pratique. Outre la dynamique du contexte (le mouvement entre connaissances contextuelles et contexte procéduralisé) il est également possible d'avoir une estimation de la durée de vie d'un élément contextuel dans le contexte procéduralisé.

Il est de plus apparu que les graphes contextuels sont une expression informatique de la notion de schème d'action utilisée en Sciences Cognitives (voir par exemple Vergnaud, 1985). Un schème permet d'organiser l'activité autour d'un objet, et peut appeler d'autres schèmes pour réaliser des sous-but. Chaque schème a un nom, un but et un graphe contextuel représentant le processus de prise de décision qui permet de réaliser le but en prenant en compte le contexte courant (Pasquier, 2002). Graphes contextuels et schèmes permettent une représentation de l'activité des opérateurs aussi bien sous la forme de la procédure officielle que de ses différentes pratiques, l'intégration naturelle de fonctionnalités d'apprentissage automatique et d'adaptation dans un système informatique, une représentation explicite du contexte dans le raisonnement tenu par les opérateurs, et l'organisation de l'activité elle-même.

6 CONCLUSION

Frederik Pohl (1969) écrivait une nouvelle de science-fiction appelée "L'Ere du Satisfacteur". Dans cette histoire, chaque personne possède un appareil mobile (le PDA en serait un précurseur) appelé Satisfacteur dans la nouvelle. Chaque personne effectue toutes les opérations par l'intermédiaire de cet appareil, de la commande d'un produit, le paiement de celui-ci, le réglage d'un rideau dans la maison, communiquer avec les autres personnes, et même recevoir ou envoyer sur une autre personne des produits chimiques. Une conséquence directe est que si une personne perd ou se fait voler son Satisfacteur, elle perd du même coup tout statut dans la société, ne peut plus acheter de nourriture, etc. Cette nouvelle de science-fiction trouve maintenant quelques échos : la localisation d'une personne par GPS, son identification quand elle entre dans une pièce, la commande et le paiement par Internet, etc. Les études actuelles portent sur les appareils mobiles, et déjà bon nombre de problèmes matériels sont résolus. Toutefois, il ne s'agit que d'approches "centrées équipement", une véritable approche centrée utilisateur demandant un centrage préalable sur le contexte (Brézillon, 2003b).

De l'observation des actions que l'opérateur accomplit lors de l'exécution de sa tâche (par exemple, les raccourcis claviers), le système peut accompagner l'opérateur par une veille attentive. Lors de cette veille, le système peut être conduit à utiliser des moyens de simulation afin de pouvoir anticiper certains résultats des actions de l'opérateur, à condition de disposer d'un modèle

du processus sur lequel l'opérateur agit. Le système peut alors intervenir si certaines conséquences à long terme peuvent présenter des dangers, mais intervenir aussi pour lui rappeler des tests à effectuer, une personne à contacter pour avoir des informations supplémentaires. Par ailleurs, l'expérience acquise auprès d'un opérateur lors de l'exécution d'une tâche peut permettre d'aider cet utilisateur au cours d'autres tâches ou d'autres opérateurs pour la même tâche.

L'aspect innovant de la proposition faite dans cette contribution concerne une utilisation du contexte à différents niveaux : (1) la modélisation du contexte, (2) la représentation et le stockage des données, informations et connaissances, (3) la récupération intelligente de données, informations et connaissances. Nous avons concrétisé ceci dans un formalisme de représentation basée sur le contexte des connaissances et du raisonnement appelé Graphes Contextuels. Globalement, notre approche est une approche centrée sur l'utilisateur prenant en compte préférences, langage, possibilité financière, l'historique, etc. Dans l'application qui nous a servi de support nous avons montré qu'il était possible de représenter d'une manière effective et utile les pratiques en les assimilant à différentes contextualisations d'une même procédure (pour une résolution donnée d'un problème). Notre position se trouve renforcée par le fait qu'il semble exister des liens très resserrés entre nos graphes contextuels et les schèmes d'action considérés en Ergonomie Cognitive (Pasquier, 2002).

Toutefois, il est impératif de ne pas parler du contexte dans l'abstrait car le contexte : (1) est relatif à un focus d'attention donné (par exemple, le processus de prise de décision), (2) est considéré pour un point de vue donné (par exemple, celui de l'utilisateur ou d'un observateur), (3) a une granularité dans la généralité (des connaissances contextuelles à un niveau sont procéduralisées au niveau inférieur), et (4) présente des aspects statiques et dynamiques qui sont interdépendants. Des aspects du contexte sont à étudier plus en détail. Néanmoins, notre approche ouvre des perspectives intéressantes pour, par exemple, une modélisation dynamique dans une base de données basée sur le contexte de la requête d'un utilisateur.

7 BIBLIOGRAPHIE

- Bainbridge, L. (1997). The change in concepts needed to account for human behavior in complex dynamic tasks, *IEEE transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 27, 351-359.
- Bardram, J.E. (1997). Plans as situated action: An Activity Theory approach to workflow systems. Papier présenté à ECSCW'97 Conference, Lancaster UK,. <http://www.daimi.aau.dk/~bardram/ECSCW97.html>
- Bouaud, J., Séroussi, B., & Antoine, E.-Ch. (1999). OncoDoc: modélisation et "opérationnalisation" d'une expertise thérapeutique au niveau des connaissances. Papier présenté à Ingénierie des Connaissances (IC'99), Palaiseau, pp. 61-69.
- Brézillon, P. (1999). Context in problem solving: A survey, *The Knowledge Engineering Review*, 14(1), 1-34.
- Brézillon, P. (2003a) Context dynamic and explanation in contextual graphs. In: Modeling and Using Context (CONTEXT-03), P. Blackburn, C. Ghidini, R.M. Turner and F. Giunchiglia (Eds.). LNAI 2680, Springer Verlag Verlag (<http://link.springer.de/link/service/series/0558/tocs/t2680.htm>). pp. 94-106.
- Brézillon, P. (2003b) Focusing on context in human-centered computing *IEEE Intelligent Systems*, 18(3): 62-66.
- Brézillon, P., & Pomerol, J.-Ch. (1999), Contextual Knowledge sharing and cooperation in intelligent assistant systems, *Le Travail Humain* 62 (3), PUF, Paris, 223-246.
- Brézillon, P., Gentile, C., Saker, I., & Secron, M. (1997). SART: A system for supporting operators with contextual knowledge . Papier présenté à First International and Interdisciplinary Conference on Modeling and Using Context (CONTEXT-97). Federal University of Rio de Janeiro Ed., pp. 209-222.
- Brézillon, P., Cavalcanti, M., Naveiro, R., & Pomerol, J.-Ch. (2000). SART: An intelligent assistant for subway control. *Pesquisa Operacional, Brazilian Operations Research Society*, 20(2): 247-268.
- Britanik, J.M., & Marefat, M.M. (1999). Hierarchically merging plans in decomposable domains. *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics*, 29(1): 27-39.
- Cahour, B., & Karsenty, L. (1993). Context of dialogue: a cognitive point of view. Papier présenté à IJCAI-93 Workshop on Using Knowledge in Its Context. P. Brézillon (ed.), Rapport de Recherche LAFORIA 93/13, avril.
- Clancey, W.J. (1992). The knowledge level reinterpreted: modeling socio-technical systems, Papier présenté à AAAI'92 Workshop on Cognitive Aspects of Knowledge Acquisition, Stanford, CA, March, pp. 47-56.
- de Brito, G., & Boy, G. (1999). Situation awareness and procedure following . Papier présenté à CSAPC'99, Villeneuve d'Ascq, Presses Universitaires de Valenciennes, pp 9-14.

- Debenham, J. (1997). Strategic workflow management: An experiment. Papier présenté à International Workshop "Distributed Artificial Intelligence and Multi-Agent Systems", DAIMAS'97.
- Degani, A., & Wiener, E.L. (1997). Procedures in complex systems: The airline cockpit. *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 27(3): 302-312.
- Dey, A.K., & Abowd, G.D. (1998). A conceptual framework and a toolkit for supporting the rapid prototyping of context-aware applications. <http://www.cc.gatech.edu/fce/contexttexttoolkit>.
- Dourish, P. (2001). Seeking a Foundation for context-aware computing ». *Human-Computer Interaction*, 16 (2-4). <http://hci-journal.com/editorial/vol-16.html>
- Ekdahl, B., Astor, E., & Davidsson, P. (1995). Toward anticipatory agents. In: Intelligent Agents, M. Wooldridge & Jennings N. (Eds.), Lecture Notes in AI, 890, Springer Verlag, Berlin, pp. 191-202.
- Forslund, G. (1995). *Toward cooperative advice-giving systems. The expert systems experience*, Ph. D. Thesis 518, Linköping University, Sweden.
- Hayes-Roth, B., & Hayes-Roth, F. (1979). A cognitive model of planning, *Cognitive Science*, 3, 275-310.
- Hoc, J.-M. (1996). *Supervision et Contrôle de Processus. La cognition en Situation Dynamique*. Grenoble: P.U.G.
- Hollnagel, E. (Ed.), (1993). *Human Reliability Analysis, Context and Control*. London: Academic Press,.
- Leplat, J. (1985). *Erreur humaine, fiabilité humaine dans le travail* In: A. Colin, ed. Collection Universitaire, pp 100-120.
- McCarthy, J. (1993). Notes on formalizing context. Papier présenté à 13th IJCAI, Vol.1, pp 555-560.
- Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1995). *The Knowledge-Creating Company*. Oxford University Press, New York,.
- Pasquier, L. (2002). *Modélisation de raisonnement tenus en contexte. Application à la gestion d'incidents sur une ligne de métro*. Thèse de l'Université Paris 6, juillet.
- Pasquier, L., Brézillon, P., & Pomerol, J.-Ch. (2003). Learning and explanation in a context-sensitive adaptive support system". In: C. Faucher, L. Jain & N. Ichalkaranje (Eds.) *Innovative Knowledge Engineering*. Springer-Verlag (to appear).
- Patil, R.S., Szolovits, P., & Schwartz, W.B. (1981). Causal understanding of patient illness in medical diagnosis. Papier présenté à 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence, pp. 893-899.
- Pohl, F. (1969). *L'ère du Satisfacteur*. Paris: Librairie des Champs Elysées, Série Science Fiction.
- Pomerol, J.-Ch. (1997). Artificial Intelligence and Human Decision Making, *European Journal of Operational Research*, 99, 3-25.
- Pomerol J.-Ch., & Brézillon P. (2001). About some relationships between knowledge and context. In: P. Bouquet, L. Serafini, P. Brézillon, M. Benerecetti, F. Castellani (Eds.): *Modeling and Using Context (CONTEXT-01)*. Lecture Notes in Computer Science, Springer Verlag, N° 1688, pp. 461-464. (Full paper at <http://www-poleia.lip6.fr/~brezil/Pages2/Publications/CXT01/index.html>)
- Pomerol, J.-Ch., Brézillon, P., & Pasquier, L. (2002). Operational knowledge representation for practical decision making. *Journal of Management Information Systems*, 18(4): 101-116.
- Schank, R.C. (1982). *Dynamic memory, a theory of learning in computers and people* Cambridge University Press.
- Schmidt, A., Takaluoma, A., & Mantyjarvi, K. (2000). Context-aware telephony over wap. *Personal Technologies*, 4(4): 225-229.
- Strauss, A., Fagerhaugh, S., Suczek, B., & Wiener, C. (1985). *Social Organization of Medical Work*. Chicago and London: University of Chicago Press.
- Vergnaud, G. (1985). Concepts et schèmes dans la théorie opératoire de la représentation, *Les Représentation, Psychologie Française*, 30 (3 et 4): 245 - 252.
- Xiao, Y., Milgram, P., & Doyle, D.J. (1997). Planning behavior and its functional role in interactions with complex systems. *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics- Part A: Systems and Humans*, 27(3): 313-324.