# MODELISATION DE RAISONNEMENTS TENUS EN CONTEXTE ET APPLICATION AUX AGENTS D'AIDE A LA GESTION D'INCIDENTS DE SART.

Laurent Pasquier

# Table des Matières

# Table des illustrations

# Introduction

Ce rapport est dédié à l’état d’avancement des travaux qui se situent à l’intersection du projet SART et d’une thèse en informatique sur la modélisation de raisonnements en contexte. Cette thèse est réalisée à la Régie Autonome des Transports Parisiens (RATP) et au Laboratoire d’Informatique de Paris 6 (LIP6) et régie par une convention CIFRE. Les résultats théoriques de cette thèse seront appliqués à la gestion d’incidents sur une ligne de métro et testés sur la ligne 4 du réseau métropolitain de Paris.

Deux versions de ce rapport existent : une version orientée applications pratiques éditée par la RATP (Pasquier, 2000) et cette version orientée résultats théoriques. Ces deux versions contiennent une base commune composée des éléments fondamentaux des deux points de vue et se différencient principalement par la forme et par le développement de points précis sur les applications envisagées dans la version RATP. De plus la version RATP ne revient pas sur la définition et les paradigmes de la régulation d’une ligne de métro et de la gestion des incidents.

Dans cette version du rapport, je fais d’abord une présentation de la tâche de régulation d’une ligne de métro et de la gestion des incidents qui y surviennent. Ensuite je présente le projet SART (Système d’Aide à la Régulation du Trafic) qui est le cadre de l’application des résultats de mes recherches. La section 3 s’intéresse au point de vue adopté sur la notion de contexte et aux recherches effectuées sur les deux modèles de raisonnement considérés : le Raisonnement à Partir de Cas et le Raisonnement à Base de Règles. Enfin je ferai un résumé de l’état actuel de l’implémentation des résultats dans SART.

# 1 Régulation d’une ligne de métro

## 1.1 Qu’est-ce qu’une ligne de métro ?

Le métro est un mode de transport urbain ferré se distinguant principalement par son caractère clos. Ce point est à la fois un avantage (pas de gêne occasionnée par les usagers de la voirie) et un inconvénient (pas d’ouvertures, ce qui peut être à l’origine de phénomènes de claustrophobie). D’un point de vue systémique, une ligne de métro est un système ouvert (flux de voyageurs entre le métro et l’extérieur), très technique (associant les paradigmes des réseaux ferrés à ceux des tunnels) et complexe, où la sécurité est le maître mot (surtout à cause de la proximité entre les usagers et les installations électriques de forte tension).

Plusieurs descriptions sont possibles pour une même ligne. On peut ainsi décrire une ligne par ses stations, sa structure électrique ou l’organisation de son exploitation.

Une ligne ne se limite pas à une succession de stations reliées par des interstations (le plus souvent sous tunnel). Certaines stations, les terminus, jouent un rôle administratif de gestion des conducteurs et des matériels roulants (les rames). Chaque ligne porte au moins deux terminus, dont l’un est appelé **terminus principal**, les autres étant qualifiés de **secondaires**. Suite aux extensions d’une ligne, les terminus ne sont pas toujours en bout de ligne. Dans le cas où un terminus se situe en cours de ligne, celui-ci est qualifié d’**intermédiaire**. Chaque terminus se distingue des autres stations par la présence de voies secondaires permettant de garer des trains. Ils sont également équipés d’un poste de manœuvre local (PML) qui permet d’aiguiller les trains dans la zone du terminus. Les terminus jouent un rôle important dans la régulation des rames et sont chargés du départ des trains. Dans chaque PML un chef de départ est responsable des mouvements des trains dans la zone du terminus et gère les trains qui s’y trouvent.

Une autre description importante d’une ligne de métro s’organise autour de l’énergie de traction. La puissance nécessaire au fonctionnement d’une ligne ne peut être fournie que par plusieurs **postes de redressement**, qui convertissent l’électricité haute-tension alternative en un courant continu utilisable par les trains circulants sur la ligne. Le fait que plusieurs points d’alimentation existent oblige à segmenter la ligne. Ainsi chaque ligne est découpée suivant des **sections**, des **sous-sections** et des **sections élémentaires**. Une section est une portion de voie pouvant être alimentée en électricité de manière indépendante des autres sections, grâce à la connexion directe avec un ou plusieurs poste(s) de redressement. Les différentes sections d’une ligne sont, normalement, déconnectées les unes des autres, mais peuvent être raccordées aux sections voisines par des **contacteurs de section** (CS). Chaque section est elle-même découpée en sous-sections d’alimentation, qui sont reliées électriquement entre elles, en temps normal, par la fermeture des **commutateurs de sous-section** (SIT). Seules quelques sous-sections portent les postes de redressement, les autres sous sections étant alimentées par leurs voisines. La définition des sections et sous-sections prend en compte la puissance nécessaire à la circulation des trains sur les différentes portions de voie et est telle que chaque sous-section peut être isolée de ses voisines. Les sous-sections peuvent elles-mêmes être décomposées en sections élémentaires, qui représentent un niveau de sectionnement supplémentaire. La différence se situe cette fois-ci dans le type de commutateur. Les deux premiers (CS et SIT) sont télécommandés, alors que ceux des sections élémentaires sont « à pied d’œuvre » (c’est à dire sur le site même) et sont donc utilisés dans de rares cas.

Une description moins technique des lignes de métro peut être faite si on la regarde du point de vue de l’organisation de l’exploitation. Les terminus gèrent, outre les conducteurs, les départs des rames et leurs garages et dégarages. La régulation des trains en ligne est réalisée par les **chefs de régulation** (CREG), qui travaillent au **poste de commande centralisé** (PCC). Ceux-ci font face à un **tableau de contrôle optique** (TCO) qui représente la ligne, l’état d’alimentation des sections et sous-sections, l’état des signaux et des aiguillages, la position et les numéros des trains. Ils sont en contact avec les conducteurs par la **téléphonie haute fréquence** (THF), avec les agents de station et l’**inspecteur principal d’exploitation** (IPPEX) par des téléphones directs, avec les personnes sur les quais par les téléphones automatiques… De plus, ils peuvent donner l’ordre à une rame de stationner jusqu'à nouvel ordre grâce au **départ sur ordre** (DSO), sorte de signal semi-automatique disposé en tête de chaque quai. Les CREG utilisent les moyens à disposition (DSO, télécommande des CS et SIT, moyens de communication divers…) pour réguler le trafic et gérer les incidents.

## 1.2 Gestion d’incidents

Même si tout le monde comprend bien ce qu’est un incident, il reste difficile de définir ce terme dans notre cadre. En effet, il existe des situations où tout semble normal pour l’usager, mais où le trafic est irrégulier pour le CREG et inversement. Certaines situations sont sans ambiguïté (par exemple un incident matériel), mais d’autres sont plus floues (par exemple un signal d’alarme). Notre but n’est pas de définir ce terme précisément. Dans cette étude, nous considérons comme **incident** *toute situation d’exploitation dégradée du point de vue du CREG, pour laquelle il peut prendre des mesures compensatoires*.

Nous avons analysé l’activité de gestion d’incidents au PCC par l’observation directe, des entretiens « à chaud » et des confrontations. De là sont ressorties plusieurs informations importantes pour la suite de nos recherches, notamment la structure de l’activité étudiée et les principales caractéristiques de celle-ci (Brézillon *et al.*, 1999).

### 1.2.1 L’activité de gestion des incidents

Nous avons identifié trois phases dans la gestion d’un incident. Premièrement la phase d’identification de l’incident, où le CREG prend connaissance de la survenue d’un incident (par le biais d’un **événement incidentel**), détermine autant que possible les caractéristiques principales de celui-ci (type d’incident, cause, lieu, circonstances…). Cette première phase se poursuit alors que la deuxième peut déjà commencer. Celle-ci correspond à la gestion de l’incident, **locale** pour résoudre celui-ci ou **globale** pour gérer le trafic résiduel. Pendant la dernière phase, qui commence dès que la cause de l’incident est éliminée, le CREG ramène petit à petit le trafic à un mode normal d’exploitation et rédige son rapport d’incident. Ces phases sont représentées dans la figure ci-dessous, empruntée à Zanarelli (Zanarelli *et al.*, 1999).

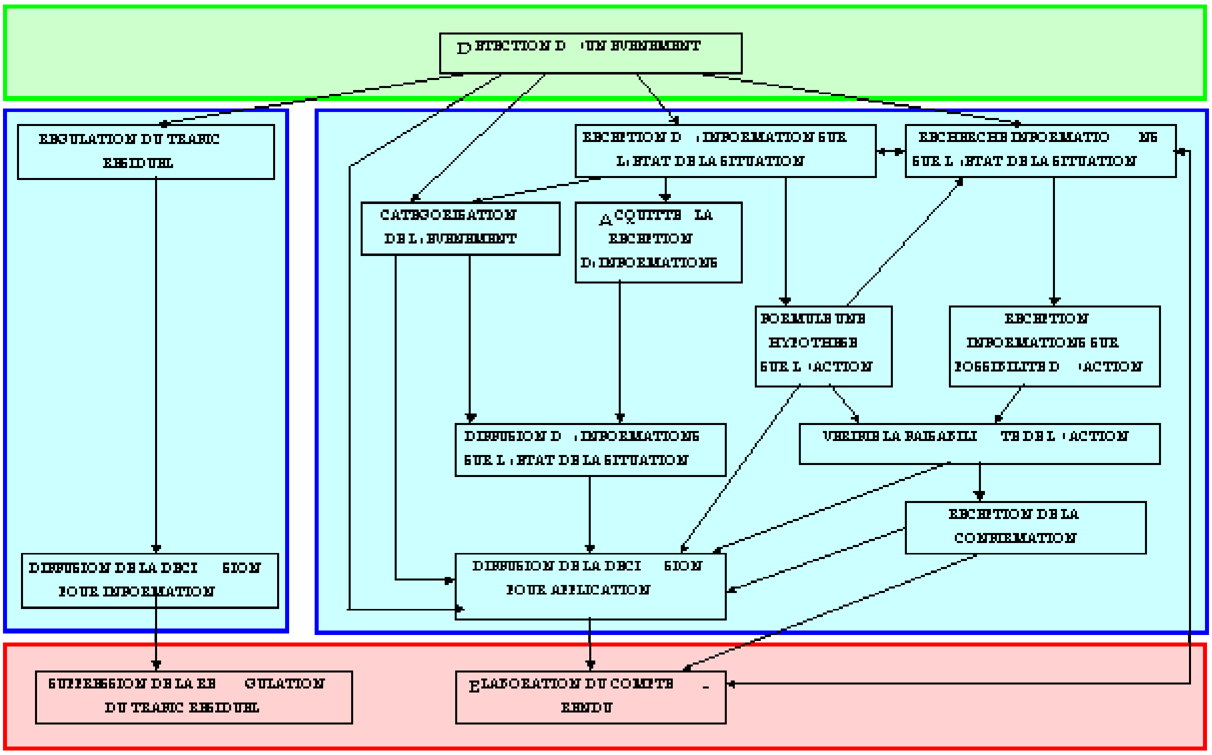


**Figure 1 : L'activité de gestion des incidents**

L’événement incidentel, défini comme étant le premier événement détecté au PCC indiquant au CREG qu’un incident vient de se produire, joue un rôle primordial dans les prises de décision qui mèneront au rétablissement du service nominal. Nous avons détecté 7 événements de ce type :

1. La demande de disjonction générale (DG). Elle est réalisée par un conducteur via le THF et se résume en général à un message du type « coupez le courant ». Le CREG coupe alors le courant puis demande plus d’informations sur l’appel et l’incident à la source de celui-ci.

2. Une coupure de courant par rupteur d'alarme (DA). Elle peut être réalisée par toute personne se trouvant sur le quai grâce aux bornes d'alarmes, mais aussi par des agents à pied d'œuvre (bien que ceux-ci soient sensés faire une demande plutôt que de couper le courant eux-mêmes). La recherche de son origine peut se révéler difficile.
3. Une disjonction d'intensité (DI). Ceci est un événement peut perturbant (pour le PCC), mais peut se compliquer en un incident en ligne. Il rend compte d'un incident technique, difficile à localiser en général.
4. Un incident en ligne (IL). Celui-ci correspond à une coupure du courant sur une section à la suite de 3 DI. Il est alors nécessaire d'en chercher la cause, afin de rétablir le courant et le trafic.
5. Le stationnement d'une rame. Le CREG peut détecter une rame qui stationne à quai ou non grâce à la visualisation des trains au TCO. Il peut alors s'inquiéter des raisons de ce stationnement en appelant le conducteur par le THF.
6. Un appel d'un conducteur par le THF. Les causes de cet appel peuvent être de toute nature.
7. Un appel pour KSA. Nous avons différencié cet appel par THF des autres, car il est très courant et la résolution est immédiatement différenciée des résolutions des autres incidents déclarés par THF.

Cette liste n'est pas *a priori* exhaustive, et peut être étendue. Certains événement incidentels peuvent être de plus combinés ; par exemple si, en cas de voyageur sur les voies, un conducteur demande une DG et qu'en même temps un autre voyageur tire le signal d'alarme d'un quai, les deux événements incidentels « Demande de DG » et « DA » sont détectés en même temps au PCC.

### 1.2.2 Procédures et stratégies

Dès qu'un événement incidentel est détecté, le CREG prend les mesures immédiates imposées par celui-ci (par exemple couper le courant dans le cas d'une demande de DG), puis cherche la cause de cet événement. Il construit ensuite une stratégie de résolution de l'incident à partir de procédures, du contexte de l'incident et de son expérience personnelle.

Les **procédures** sont des formes de connaissances compilées issues de l'expérience centenaire de l'entreprise dans la gestion d'incidents dans le métro. Elles se sont construites petit à petit grâce à la répétition des incidents et à l'amélioration des stratégies appliquées pour les résoudre. Elles ont été ensuite formalisées et unifiées par l'entreprise. Une procédure est ainsi une simplification des stratégies obtenue par élimination des éléments secondaires de contexte afin de créer une stratégie applicable, pour un incident donné, dans toutes les situations. De cette unification ressort un problème majeur : l'impossibilité de prendre en compte le contexte précis de l'incident dans la procédure. Ainsi les Procédures sont efficaces pour éliminer la cause de l'incident dans des conditions de sécurité optimale, mais ne sont pas forcément les mieux adaptées à la situation particulière d'un incident. Tout comme dans le domaine de la gestion d'incidents aéronautiques (De Brito et Boy, 1999), les procédures ne décrivent que des situations rarement rencontrées, et les opérateurs préfèrent toujours recomposer leurs stratégies afin de les adapter au mieux à la situation courante et des rester en éveil par rapport aux événements.

Le rôle du CREG est donc d'adapter les procédures pour résoudre un incident en tenant compte du contexte de celui-ci, tout en veillant à ne pas s'écarter des règles de sécurité élémentaires. Cette tâche est difficile, car il doit estimer les risques de ses actions et faire un compromis entre la sécurité, la rapidité de résolution de l'incident et la qualité de service rendu aux clients. Pour chaque incident, le CREG reconstruit ainsi une nouvelle **stratégie**. Un même CREG n'appliquera pas forcément la même stratégie pour un même incident dans des contextes similaires, *a fortiori* pour deux CREG différents.

### 1.2.3 Importance du contexte

Le contexte joue un rôle prépondérant dans la résolution d'incidents. Le fait qu'un incident arrive en heure de pointe plutôt qu'en heure creuse augmente largement la prégnance de l'aspect temporel. La résolution sera ainsi dirigée vers la minimisation de la durée de la perturbation. De même, qu'un incident arrive alors qu'un autre est déjà en cours sur la même ligne ou non, modifie grandement la stratégie appliquée pour le résoudre. Les exemples de ce type sont nombreux, les éléments rentrants en compte pour le choix des stratégies l'étant eux-mêmes.

Ces éléments de la situation qui sont primordiaux lors du choix d'une stratégie de résolution de l'incident sont, de plus, de nature variée et de divers types. Certains sont des états du système à réguler (état du trafic, position des rames…), d'autres des données universelles (date, heure…)… Certains critères sont numériques, mais la plupart sont sémantiques, avec des frontières floues. Enfin quelques éléments peuvent être obtenus automatiquement par le système, les autres doivent être fournis par l'utilisateur.

Cette grande diversité de nature et de type et la forte influence de ces éléments sur la résolution nous pousse à prendre en compte le contexte dans son ensemble et à réaliser un modèle permettant de tenir compte de toutes les informations à disposition lors de la prise de décision. Cette prise en compte du contexte est nécessaire pour la survie des connaissances, comme Wielinga et Schreiber (1998) le soulignent.

# 2 Le Projet SART

Le projet SART (acronyme de Système d'Aide à la Régulation du Trafic) est un projet franco-brésilien dont le but est la conception et la réalisation d'un outil d'aide aux agents responsables de la régulation d'une ligne de métro. Une page WEB est dédiée à SART à l'URL http://www.lip6.fr/SART**.** Ce projet est encadré par deux conventions nationales entre d'une part la RATP et l'Université Pierre et Marie Curie (UPMC, Paris 6) et d'autre part l'entreprise Metrô de Rio de Janeiro (Metrô-Rio) et l'Université Fédérale de Rio de Janeiro (UFRJ) et une convention internationale entre l'UPMC et l'UFRJ.

## 2.1 Genèse du projet SART

Le projet a été initialement proposé par deux responsables du poste de commande centralisé (PCC) des lignes du métro de Rio (Marius Secron et Claudio Gentile), afin de pallier les défauts d'organisation locale du PCC. En effet, les chefs de régulation (CREG) brésiliens sont de jeunes cadres nouvellement embauchés par l'entreprise, sans expérience du terrain. Ainsi il arrive que les actions ordonnées par les CREG conduisent à des inconsistances au niveau local. Metrô-Rio a donc décidé de concevoir un outil d'aide à la décision pour ses

CREG, dont le but est, en cas d'incident, de proposer une stratégie de résolution adaptée à la situation.

Ceci n'est pas le cas dans le métro parisien, car les CREG de la RATP n'accèdent à ce poste qu'après une expérience réelle du terrain. Ainsi les responsables de la régulation d'une ligne de métro parisien sont capables d'estimer les conséquences au niveau local de leurs décisions. Toutefois un tel projet intéresse la RATP à l'heure où il est question de capitalisation des connaissances. Ces connaissances capitalisées pouvant alors mieux être exploitées pour améliorer la qualité de service à Paris et l'exportation du savoir-faire de l'entreprise.

Une coopération est alors mise en place entre les deux entreprises et les universités de Paris 6 (Université Pierre et Marie Curie, UPMC) et Fédérale de Rio de Janeiro (UFRJ). Les deux responsables du PCC de Metrô-Rio ont fait une thèse de doctorat en informatique en cotutelle à l'UFRJ et à l'UPMC afin d'intégrer des paradigmes d'intelligence artificielle dans le projet SART. Ils ont passé une année (1997-98) en France pour initialiser le projet. La structure du système d'aide et les principales fonctionnalités ont alors été définies.

## 2.2 Principes de SART

SART est un système d'aide nouvelle génération. Les premiers systèmes d'aide (les systèmes experts) ont pêché par leur difficulté à s'adapter à de nouvelles situations. Plusieurs éléments sont mis en cause, les principaux étant :

1. Une base de connaissances inextensible, qui empêche de mémoriser des situations rencontrées non prévues par le concepteur du système expert ;
2. Des connaissances n'intégrant pas d'éléments du contexte, alors que ce dernier est un critère principal pour la prise de décision dans de nombreux domaines d'application (dont la gestion des incidents sur une ligne de métro).

Pour pallier ces défauts, des systèmes experts de deuxième génération ont été développés (les Systèmes à Base de Connaissances ou SBC). Ceux-ci gèrent et travaillent avec des bases de connaissance extensibles, mais ne tiennent pas compte du contexte dans la définition des éléments de connaissance. Cette première étape est essentielle car elle met en valeur l'apprentissage automatique et défini les algorithmes associés. Mais dans cette acceptation, les capacités du système sont limitées à des domaines simples, où le contexte n'entre pas en compte lors de la prise de décision.

C'est en cherchant à intégrer le contexte dans les SBC que Brézillon (1995) en est venu à spécifier les Systèmes d'Aide Intelligents en Contexte (SAIC). Les SAIC se distinguent des SBC par le fait qu'ils ne cherchent pas à remplacer l'utilisateur, mais à le seconder intelligemment dans sa tâche. Pour cela, il est apparu nécessaire que le SAIC soit capable de travailler avec la dimension contextuelle, ce qui faisait défaut aux SBC. Cette dimension permet au SAIC d'adapter intelligemment son comportement à celui de l'utilisateur et d'améliorer la qualité des réponses proposées. Un SAIC est donc un système d'aide utilisant des connaissances organisées en bases et qui tiennent compte du contexte dans lequel elles sont consistantes. Les principes fondamentaux d'un SAIC reposent sur la modélisation des connaissances du domaine en tenant compte du contexte, sur l'acquisition incrémentale de connaissances et sur des raisonnements proches de ceux de l'utilisateur.

Nous proposons de concevoir SART comme un SAIC. La modélisation des connaissances du domaine a été réalisée préalablement (Saker, 1999 ; Brézillon *et al.*, 1997). Ces résultats sont rappelés dans la section 4.1. Nous présenterons dans la suite de ce rapport nos travaux sur la modélisation des raisonnements tenus en contexte et l'acquisition de connaissances. Nous présentons dans la section suivante la structure de SART.

## 2.3 Structure de SART

Il a été décidé d'implémenter SART sous la forme d'un système multi-agent de type multi-expert (Brézillon *et al.*, 1997). Ceci permet, sur une même plate-forme de communication, d'ajouter des fonctionnalités par l'insertion d'agents spécialisés dans une tâche. A l'heure actuelle, 6 agents sont prévus : un agent configurateur de ligne, un simulateur de trafic, un agent archiviste des expériences, un agent conseiller en résolution d'incidents, un agent courtier en incidents et un agent de communication.

1. Le **configurateur** de ligne permet de définir et de modifier les paramètres d'une ligne de métro (tracé, courbure, déclivité, stations, sectionnements, signalisation…). Certains paramètres peuvent être modifiés temporairement de manière dynamique pour tester des hypothèses par le simulateur de trafic.

2. Le **simulateur** de trafic calcule l'évolution du trafic sur la ligne, en fonction d'un état initial (position des trains sur la ligne, état des signaux…), des paramètres actuels de la ligne (gérés par le configurateur) et du contexte. Ces différents éléments sont passés en paramètres au simulateur, ainsi le calcul peut être réalisé afin de tester des hypothèses, soit sur la structure de la ligne, soit sur une stratégie de résolution d'incident adaptée au contexte.

3. L'**archiviste** a pour but la maintenance des bases de connaissances sur la gestion des incidents. Il travaille en interaction avec l'utilisateur afin d'acquérir des nouvelles connaissances sur la résolution des incidents et les stratégies appliquées et les organise dans des bases utilisables par d'autres agents de SART.

4. Le **conseiller** a pour but de proposer, en temps réel, des stratégies de résolution d'incidents adaptées au contexte. Il utilise les connaissances accumulées par l'archiviste, des données sur la situation courante récupérées automatiquement et des données fournies par l'utilisateur pour retrouver et proposer des stratégies spécifiques applicables pour résoudre l'incident courant.

5. Le **courtier** a pour but de proposer des stratégies de résolution d'incidents adaptées au contexte, soit à l'instant de la saisie d'un incident, soit pendant des périodes calmes. Comme le conseiller, il exploite les connaissances accumulées par l'archiviste, mais ses recherches ne sont basées que sur des éléments fournis par l'utilisateur. Celui-ci est libre en ce qui concerne ces recherches, et le courtier propose de comparer des stratégies diverses. Son rôle est d'amener le CREG à étudier des cas d'incidents proches et de déterminer ce qui les distingue, afin d'affiner son expertise.

   L'archiviste, le conseiller et le courtier, qui aident à la gestion des incidents, sont plus amplement détaillés dans la suite de ce rapport.

6. Ces cinq agents communiqueront entre eux et avec l'utilisateur via l'**agent de communication,** qui jouera ainsi le double rôle de plate-forme de communication du système multi-agent et d'interface avec l'utilisateur. Il sera chargé notamment de décomposer les questions complexes de l'utilisateur en entités traitables par les différents agents et de combiner les réponses de ceux-ci en une unique réponse à

l'utilisateur. L'utilisateur n'aura ainsi qu'un seul interlocuteur et n'aura pas à s'adapter à différents agents et à leurs langages respectifs. Les flux d'information entre l'utilisateur et les différents agents de SART sont résumés dans la Figure 2.

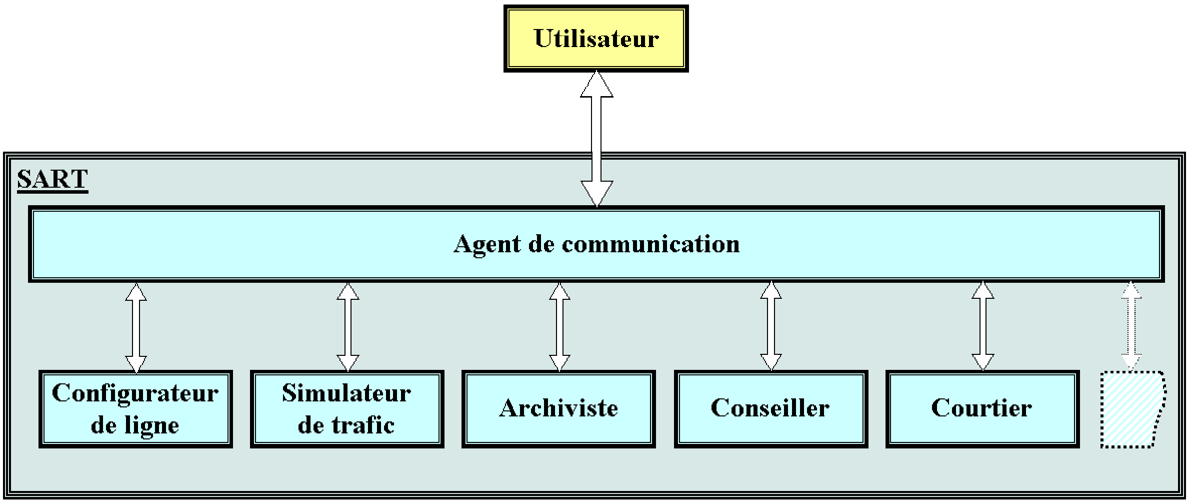



**Figure 2 : Structure de communication de SART**

Cette structure autorise l'ajout de nouvelles fonctionnalités à SART de manière quasi transparente aux yeux de l'utilisateur. Les nouveaux agents devront simplement respecter les protocoles de communication de SART et pourront partager les connaissances accumulées pour réaliser leurs buts. Toutefois, il faut noter que les différents agents peuvent être développés indépendamment les uns des autres.

Les tâches de conception et de développement sont ainsi partagées entre la France et le Brésil. Le configurateur de ligne doit être développé au Brésil et le simulateur de trafic y est en cours de développement. En France, nous avons en charge les agents archiviste, conseiller et courtier ; et l'agent de communication est en projet.

## 2.4 Fonctionnalités de SART

Les principes fondamentaux de SART sont les suivants :

1. Le système doit être paramétrable, tant en ce qui concerne l'interface (langue, notamment) qu'en ce qui concerne les connaissances nécessaires à la gestion d'incidents sur une ligne de métro particulière. Outre les interfaces et les paramètres d'une ligne, les éléments de connaissance du domaine ne sont pas forcément identiques d'une application à l'autre, car les organisations internes et le fonctionnement des différents réseaux de métro sont distincts. Aussi est-il nécessaire de considérer ces connaissances du domaine en tant que paramètres du système. Ceci est vrai à plus forte raison pour les connaissances sur la gestion même des incidents, puisque celles-ci dépendent à la fois de l'organisation des éléments du domaine, de politiques internes et de la culture d'entreprise. Tous ces éléments peuvent être introduit dans le système de manière déclarative (c'est à dire qu'ils ne sont pas inscrits dans le code du programme, mais qu'ils sont lus par le système lors de son initialisation).
2. Pour une aide efficace sur la gestion des incidents sur une ligne de métro, il est nécessaire de tenir compte de la situation, afin d'adapter au mieux les stratégies de

résolution au contexte de l'incident. Ainsi, les connaissances de SART doivent être adaptées à la prise en compte du contexte. C'est pour cette raison que nous avons développé des structures de connaissances telles que les graphes contextuels (voir la section 3.3, ci-dessous).

3. Pour suivre l'évolution des connaissances, des techniques et des stratégies, SART devra être capable d'assimiler des enseignements, notamment de la part des CREG. Pour cela, les connaissances du domaine et les bases de connaissances sur la résolution d'incidents pourront être complétées grâce à une discussion entre le système et l'utilisateur. La phase d'apprentissage des connaissances sur les stratégies sera plus amplement détaillée dans la section 3.4.

Ces principes sont la base du système SART. D'autres fonctionnalités, secondaire par rapport à celles-ci, complètent cette spécification fonctionnelle. Actuellement, afin de tester les fonctionnalités de base de SART (notamment l'acquisition de connaissances sur la gestion des incidents), il est prévu de développer un agent d'aide à la résolution d'incident (l'agent conseiller) ainsi qu'un agent de retour d'expérience (l'agent courtier). Ceux-ci proposent des stratégies de résolution adaptées à un incident, et à son contexte, donné par l'utilisateur. Le conseiller sera utilisé au moment où survient l'incident (utilisation « on-line »), tandis que le courtier le sera en temps différé. Cette utilisation « off-line » peut avoir lieu à deux instants : Premièrement lors de la phase de saisie d'un incident (le module propose alors de comparer la stratégie appliquée aux stratégies utilisées pour des incidents passés proches), deuxièmement pendant des périodes « creuses » (où l'utilisateur sera libre d'interroger les bases de connaissances à volonté).

Le principe du système multi-expert SART est d'ajouter des fonctionnalités en intégrant un nouvel agent spécialisé pour chacune d'elles. Ainsi d'autres fonctionnalités sont d'ors et déjà envisagées, telles que des outils statistiques sur les fréquences d'incidents, d'aide à la maintenance préventive des matériels roulants et des installations fixes, de formation des futurs CREG, d'aide à l'élaboration de procédures spécialisées… Celles-ci seront prises en compte dans une deuxième phase de développement de SART, une fois que les fonctionnalités de base et les premières fonctions d'aide auront été développées et testées en condition réelle.

La définition des fonctionnalités des agents conseiller et courtier, ainsi que les propositions des fonctionnalités futures, repose sur l'analyse de questionnaires réalisés auprès des CREG (Brézillon *et al.*, 1999). Ces questionnaires nous ont permis de mieux connaître les CREG, leur expérience, leurs habitudes de travail avec des outils informatiques et leurs attentes d'un outil tel que SART. Ces analyses ont été complétées par une comparaison avec les résultats de Zanarelli (1999). Enfin, lors de la présentation de ces travaux à l'unité d'ingénierie ferroviaire de la RATP, ces fonctionnalités ont été validées et complétées par les participants.

## 2.5 Les agents d'aide à la gestion d'incidents

Le sous-système d'aide à la gestion des incidents de SART, composé des agents archiviste, conseiller et courtier, a pour rôle d'accumuler les connaissances sur les stratégies de résolution des incidents et de proposer deux principaux mode d'investigation des bases de connaissances ainsi réalisées (en temps réel pour le conseiller et en temps différé pour le courtier).

Nous nous sommes inspirés des raisonnements des opérateurs pour choisir les modes de raisonnements du système. Les deux modes de réflexion les plus communément observés chez les êtres humains sont le raisonnement par analogie (qui consiste à adapter la solution d'un problème connu au problème à résoudre) et le raisonnement basé sur des règles (de type « si…alors… »). Ils correspondent en intelligence artificielle respectivement au Raisonnement à Partir de Cas (RàPC) et au raisonnement basé sur des règles de production. Ces deux modes ont été choisis pour leurs avantages respectifs et leur complémentarité (ils seront développés respectivement dans les sections 3.2 et 3.3). De plus, le choix de l'hybridation de ces deux modes de raisonnements est confortée par l'étude de Sun (1995) qui indique que la combinaison de règles et de similarités rends les systèmes de connaissances robustes.

L'archiviste est chargé de la maintenance des bases de connaissances sur la résolution des incidents sur une ligne de métro, le conseiller propose des stratégies de résolution d'un incident en cours en tenant compte des éléments de contexte dont il dispose et le courtier propose à l'utilisateur d'étudier les différentes stratégies applicables pour un incident de son choix dans différents contextes. Nous allons maintenant détailler les fonctionnalités de ces trois agents.

### 2.5.1 L'archiviste

L'archiviste a en charge la maintenance des bases de connaissances nécessaires aux deux modes de raisonnement utilisés dans SART et l'intégration des nouvelles stratégies de résolution des incidents dans ces bases. Ces bases sont au nombre de quatre :

1. Une base contenant tous les incidents qui se sont produits sur la ligne (appelée **base historique des incidents**) ;
2. Une base contenant les incidents typiques rencontrés (la **base des cas typiques**) ;
3. Une base contenant les procédures officielles (la **base de procédures**) ;
4. Une base contenant les stratégies appliquées (la **base de stratégies**).

Ces 4 bases se décomposent en deux groupes au regard de la structure des éléments qui y sont enregistrés. Premièrement les bases **historique des incidents** et de **cas typiques** sont composées d'éléments de type « **rapport d'incident** » (la forme de ces éléments sera spécifiée dans la section 4.2.1). Un incident y est enregistré avec ses descripteurs d'incident, de contexte, la stratégie appliquée pour le résoudre et des descripteurs de qualité de résolution. Les deux autres bases (**base de procédures** et **base de stratégies**) contiennent des éléments de type « **graphe contextuel** » (voir la section 3.3, notamment la section 3.3.5), qui sont des structures sur lesquelles des raisonnements de type raisonnement à base de règles peuvent être appliqués.

L'existence de deux bases pour chacune des deux structures de mémorisation s'explique par la coexistence pour chacune de données officielles et de données directement utilisables par les CREG. Ainsi, les procédures sont les « stratégies officielles », que les CREG adaptent à la situation réelle pour chaque incident (ils élaborent alors une stratégie pour résoudre l'incident courant en tenant compte du contexte). Les incidents typiques sont les incidents rencontrés qui se distinguent des autres incidents de même type, soit par leur contexte, soit par la stratégie appliquée pour les résoudre. Ils sont réutilisables par les CREG en adaptant la stratégie à un incident courant grâce à un raisonnement de type « analogie ». Tous les incidents (même les incidents typiques) sont enregistrés dans la base historique d'incidents, afin de conserver une trace de ceux-ci et de faire des analyses statistiques des incidents.

La Figure 3 ci-dessous, représente l'interaction entre l'utilisateur et l'archiviste ainsi que les flux de données et d'informations entre l'utilisateur, l'archiviste et les différentes bases de données gérées par le système. Les explications sont données dans le paragraphe suivant la figure (les numéros entre parenthèse dans le texte se réfèrent aux numéros dans la figure et correspondent aux différentes étapes dans l'échange d'informations).

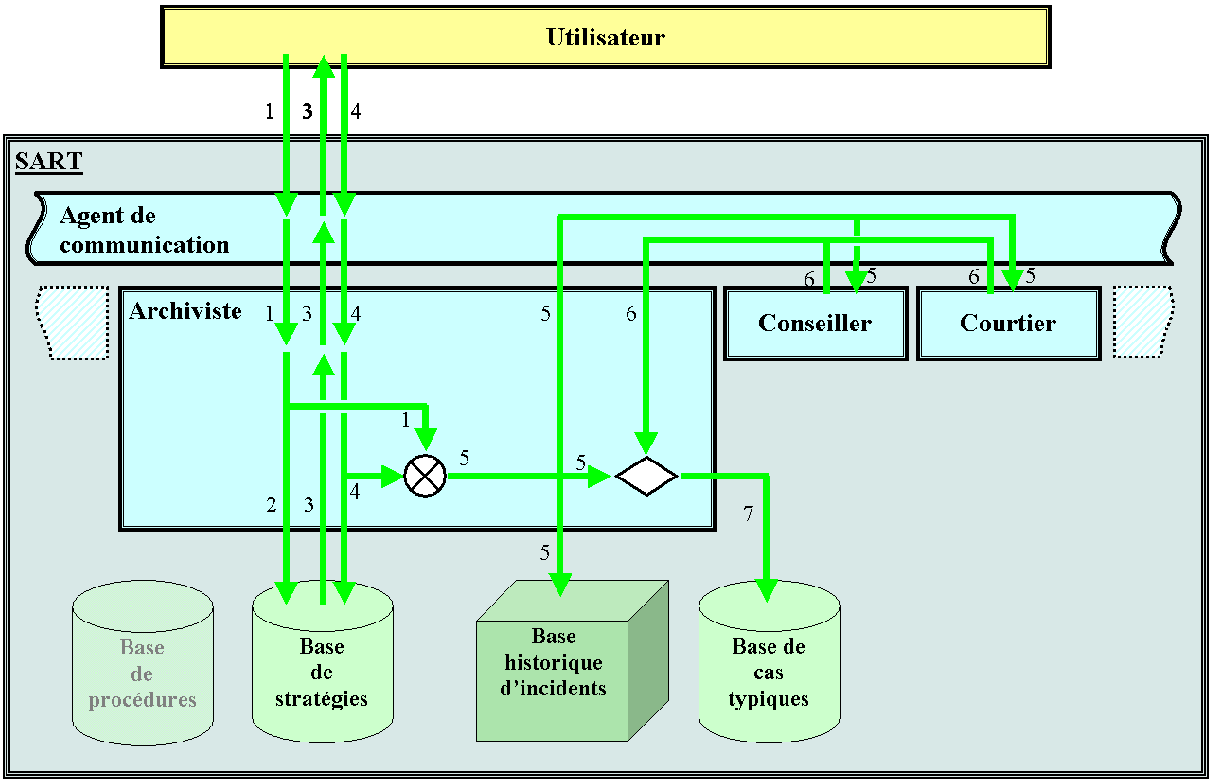



**Figure 3 : Interaction utilisateur / Archiviste et flux de données**

L'archiviste est appelé après chaque incident survenant sur la ligne concernée. L'utilisateur lui fourni les donnés décrivant l'incident, son contexte, la stratégie appliquée et les conséquences sur le trafic. Ces données (1) sont transmises par l'agent de communication à l'archiviste. Celui-ci intègre la stratégie appliquée à la base de stratégies (2). Cette étape (expliquée dans la section 3.4.2) peut engager une discussion (3 et 4) avec l'utilisateur afin de spécifier des éléments de contexte n'ayant pas été fournis, mais nécessaires pour distinguer la stratégie à intégrer de stratégies proches déjà employées. Ces descripteurs de contexte (4) sont ajoutés à la description de l'incident (1) pour l'enrichir. La description enrichie (5) est intégrée dans la base historique d'incidents. Elle est, de plus, transmise au courtier ou au conseiller (suivant disponibilité), via l'agent communication, pour deux raisons. Premièrement pour étudier la typicité du cas présent, l'archiviste compare le cas courant au cas typique le plus proche (6) qui lui est fourni par le courtier ou le conseiller. Si le cas courant est jugé suffisamment typique, il est intégré dans la base de cas typiques (7). Deuxièmement, la description enrichie du cas qui vient d'être traité est utilisée par le courtier pendant la session de retour d'expérience qui s'instaure immédiatement après la fin de la mise à jour des bases de données.

Les connaissances ainsi accumulées seront utilisées par le conseiller et le courtier pour proposer des stratégies adaptées à un incident donné avec son contexte et pour expliquer les raisonnements ayant conduit le système à faire de telles propositions. Nous allons maintenant montrer le fonctionnement de ces deux agents d'aide.

### 2.5.2 Le conseiller

Le conseiller est appelé lors d'un incident sur la ligne (utilisation « on-line »). Il aide alors l'utilisateur à définir une stratégie adaptée au contexte applicable pour résoudre cet incident. Son principe cherche à minimiser l'interaction avec l'utilisateur afin de laisser le plus de temps possible à l'utilisateur, et à se focaliser sur l'incident et le contexte courant, afin de proposer des solutions précises. Ceci est réalisé en deux ou trois temps.

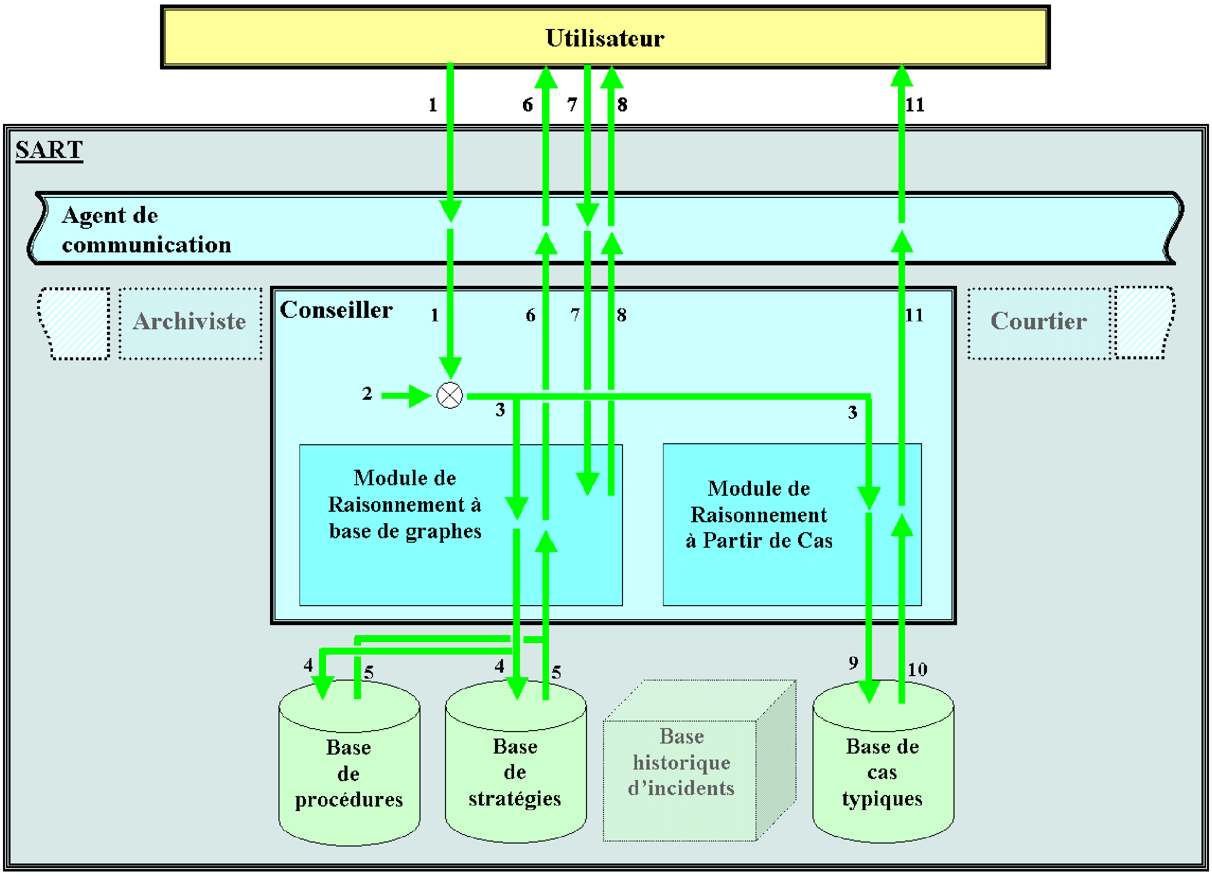



**Figure 4 : Interaction utilisateur / Conseiller et flux d'informations**

Pendant la première phase, le conseiller demande à l'utilisateur de spécifier les caractéristiques de l'incident et les éléments de contexte qui sont en sa possession (1). Le conseiller est capable d'acquérir automatiquement certaines informations, telles que la date, l'heure et ce qui s'en déduit, la position des trains sur la ligne, l'état d'alimentation des sections et sous-sections, etc., (2). La description de l'incident et de son contexte fournie par l'utilisateur est complétée des informations apportées par le conseiller et forment une description augmentée de l'incident (3) qui est transmise aux modules de raisonnement à Partir de cas et à base de règles. Lors de la deuxième phase, le conseiller recherche les stratégies applicables en utilisant les deux modes de raisonnement qu'il a à sa disposition. Le raisonnement à base de règles fourni une ou plusieurs stratégies (5), ceci dépendant du degré de précision du contexte connu et de l'adéquation de celui-ci aux critères enregistrés dans les bases de procédures et de stratégies. A l'occasion le contexte peut être précisé afin de limiter le nombre de stratégies proposées par le raisonnement à base de règles. Le raisonnement à partir de cas lui fourni les stratégies appliquées pour résoudre les cas les plus proches contenus dans la base de cas typiques (10). Toutes ces stratégies ne sont données à l'utilisateur qu'à titre d'indication. C'est à lui que revient la décision finale. Une troisième phase peut être utile. Il s'agit d'une demande, de la part de l'utilisateur, d'explication des stratégies proposées par le raisonnement à base de règles (7). Celui-ci répond alors en traçant le cheminement de son raisonnement (il s'agit en fait de montrer la succession des choix effectués par le moteur de raisonnement) (8).

Une fois l'incident résolu, les informations récoltées par le conseiller sont transmises à l'archiviste, qui se charge de compléter les informations pour réaliser la mise à jour des bases de données (comme précisé dans la section 2.5.1 ci-dessus).

### 2.5.3 Le courtier

Le courtier est appelé automatiquement juste après la phase de saisie d'un incident avec l'archiviste ou à n'importe quel instant par l'utilisateur (utilisation « off-line »). Il permet d'interroger les bases de connaissances en spécifiant soit des caractéristiques d'incident, soit des éléments de contexte. Les requêtes peuvent être raffinées ou élargies à volonté. Ceci permet à l'utilisateur de comparer des stratégies appliquées pour résoudre un même incident mais dans des contextes différents, voire comparer des stratégies appliquées dans le même contexte et chercher à comprendre ce qui les distingue…

Les flux d'information entre l'utilisateur et le courtier (Figure 5) ressemblent à ceux précédemment montrés pour le conseiller, car la différence principale entre le conseiller et le courtier se situe dans le mode d'investigation des bases de données et la quantité d'informations échangées avec l'utilisateur (en utilisation en temps différé, l'utilisateur peut consacrer plus de temps aux échanges avec le système, ce qui ouvre un champ de possibilités inaccessible avec le conseiller).

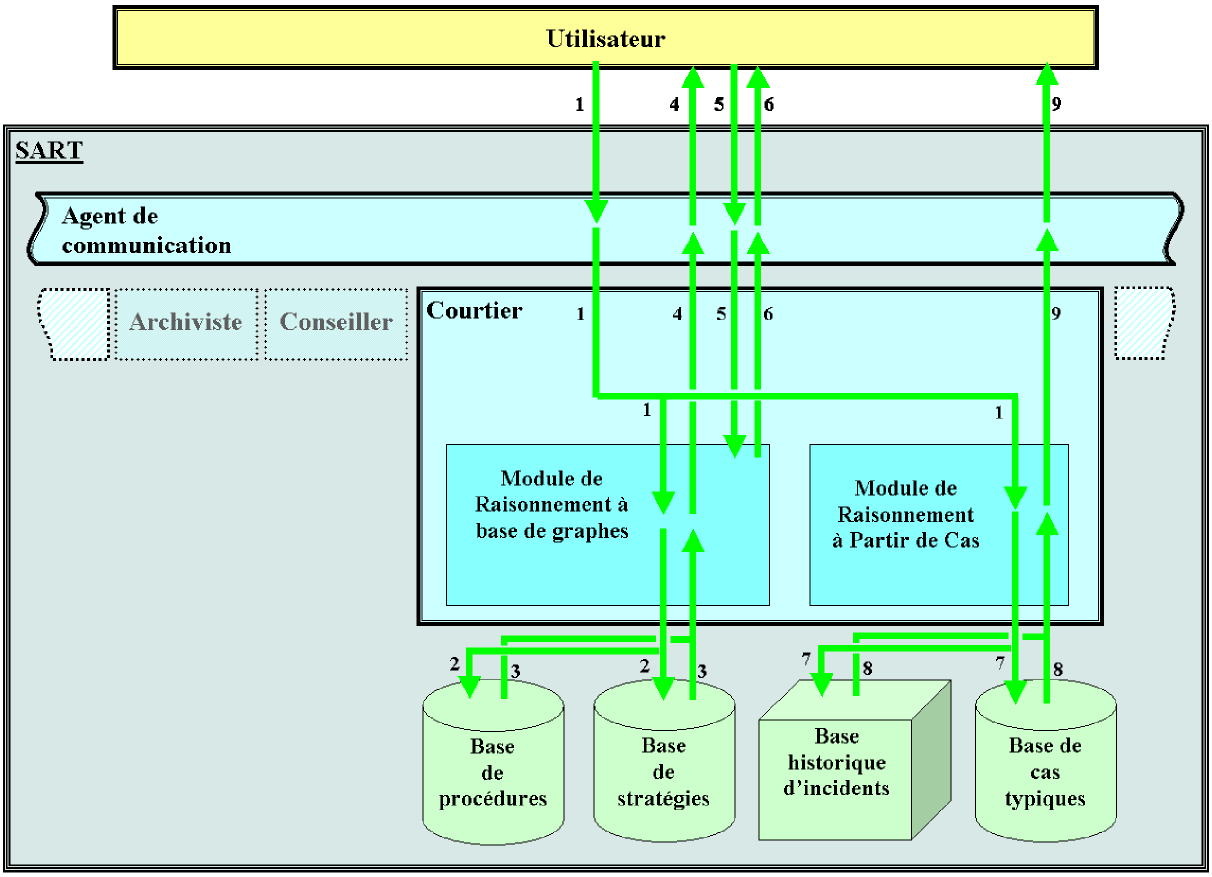



**Figure 5 : Interaction utilisateur / Courtier et flux d'informations**

Une fois les caractéristiques souhaitées rentrées (1), le courtier interroge les bases de données (2 et 7). La différence majeure avec l'investigation faite par le conseiller réside dans la quantité, la spécificité et la présentation des stratégies. En effet, le conseiller doit présenter une sélection limitée de stratégies ciblées sur l'incident courant et son contexte, alors que le courtier doit sélectionner un nombre plus important de stratégies (3, 4, 8 et 9) et diversifier celles-ci, afin d'élargir le champ de vision du CREG. Comme pour le conseiller, l'utilisateur peut demander des explications (5) qui lui seront fournies sous forme de traces du parcours des procédures et des stratégies (6).

L'utilisateur est libre de mener l'interrogation comme il l'entend, se concentrant ainsi sur les incidents et les contextes qui l'intéressent. C'est une formation continue par retour d'expérience. Ceci permet de partager des connaissances entre les CREG et peut pallier la suppression de la formation par friction actuellement rencontrée au PCC du métro parisien (les CREG enrichissent leur expérience par les nombreux échanges qu'ils ont avec leurs collègues).

# 3 Modélisation de raisonnements basés sur le contexte

Comme précisé précédemment, SART est développé en respectant les spécificités d'un SAIC. Aussi allons-nous présenter dans cette section les modèles que nous proposons d'utiliser pour modéliser le contexte, les incidents et les raisonnements tenus en contexte.

## 3.1 Modélisation du contexte

Le contexte est l'ensemble des éléments décrivant la situation dans laquelle nous devons résoudre des problèmes, prendre des décisions, etc. à chaque instant. Les systèmes experts précédents ne tenaient pas compte du contexte, ce qui rendait leurs jugements parfois inadaptés à la situation courante. Dans les années 90, des formalisations du contexte émergent (McCarthy, 1993; Turner, 1997), et de nombreuses disciplines scientifiques se penchent sur la modélisation et l'utilisation du contexte (voir à ce sujet les conférences CONTEXT'97 et CONTEXT'99).

En ce qui concerne notre application, nous pouvons remarquer que l'ensemble des éléments de contexte est trop important pour être considéré dans son intégralité. Aussi la notion de **connaissances contextuelles** a été introduite pour distinguer les éléments utiles à une personne pour comprendre, expliquer et résoudre une situation donnée des **connaissances externes**, qui sont inutiles dans la situation présente (Brézillon *et al.*, 1998). Cette définition introduit une certaine subjectivité, mais chaque opérateur a un point de vue relativement proche de celui des autres opérateurs, aussi la plupart des connaissances contextuelles sont partagées, notamment les plus importantes pour la prise de décision. Ce rapprochement des points de vue des différents opérateurs est dû à leurs nombreux échanges en ce qui concerne les incidents et leur résolution et au TCO qui sert de mémoire de travail partagée.

Ce sous-ensemble d'éléments du contexte est toutefois considérable, et toutes les connaissances contextuelles ne sont pas utiles à chaque étape de la prise de décision. Pour chaque étape, le **contexte procéduralisé** est défini comme l'ensemble des connaissances contextuelles qui sont utile à l'étape courante pour la prise de décision (Pomerol et Brézillon, 1999). A chaque étape, des connaissances contextuelles sont ainsi procéduralisées et d'autres passent d'un état procéduralisé à un état non procéduralisé. Cette notion de procéduralisation introduit donc un dynamisme dans la gestion des éléments de contexte. La Figure 6 représente l'organisation de l'ensemble des éléments de contexte tel que nous venons de la décrire.

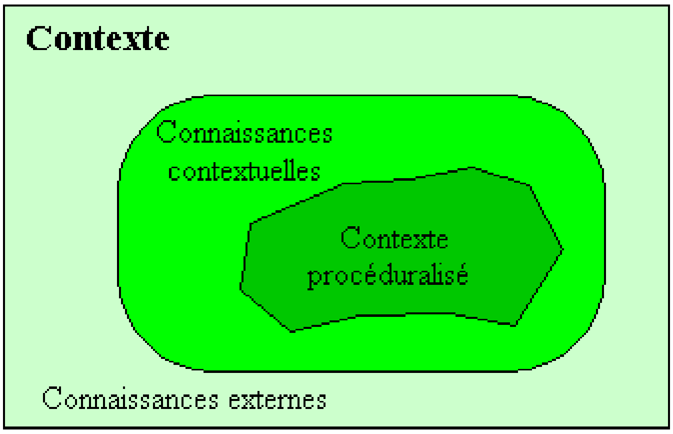



**Figure 6 : Contexte, connaissances contextuelles et contexte procéduralisé**

Par exemple, dans le cas d'une avarie matérielle de type “ effort de traction réduit ”, dans la situation décrite par (entre autres) les connaissances contextuelles “ réparation immédiate impossible, pas assez de puissance pour repartir seul, position du train avarié et du train suivant en station ”, la connaissance contextuelle “ train avarié en station ” est procéduralisée au moment où l'on doit choisir le type d'évacuation à envisager pour ce train. Dès que l'évacuation est terminée, cet élément de contexte redevient une simple connaissance contextuelle.

La distinction entre contexte, connaissances contextuelles et contexte procéduralisé nous a permis de donner une représentation plus simple des raisonnements tenus par les CREG, comme nous allons le présenter dans la section 3.3.

## 3.2 Raisonnement à Partir de Cas

Le premier mode de raisonnement auquel nous nous sommes intéressés est le Raisonnement à Partir de Cas (RàPC). Son principe est basé sur un raisonnement de type « analogie » (Burstein, 1989 ; Mignot, 1997), où des expériences passées sont mises à contribution pour définir une solution à un problème courant.

Ce raisonnement artificiel à pour but de proposer des solutions à un problème faisant partie d'une classe de problèmes couramment rencontrés par le décideur. Il repose sur une **base de cas** où sont enregistrées les situations déjà rencontrées et sur une **mesure de similarité** entre les situations, qui permet, pour une situation donnée, de retrouver les cas les plus proches dans la base de cas. Cette mesure de similarité doit être définie de manière assez fine pour que les cas retrouvés aient des solutions assez proches d'une solution du problème à résoudre.

De nombreuses études ont été réalisées sur le RàPC et des applications industrielles reposent sur ce principe. L'avantage de ce raisonnement face aux premiers raisonnements utilisés dans les systèmes experts (le raisonnement à base de règles) est la gestion simplifiée des bases de connaissances nécessaires au raisonnement. En effet, cette base est constituée des expériences précédentes et à chaque nouvelle utilisation, la mise à jour s'effectue par l'ajout du nouveau cas.

La Figure 7 représente le modèle fonctionnel du RàPC donné par Agnar Aamodt (1995).

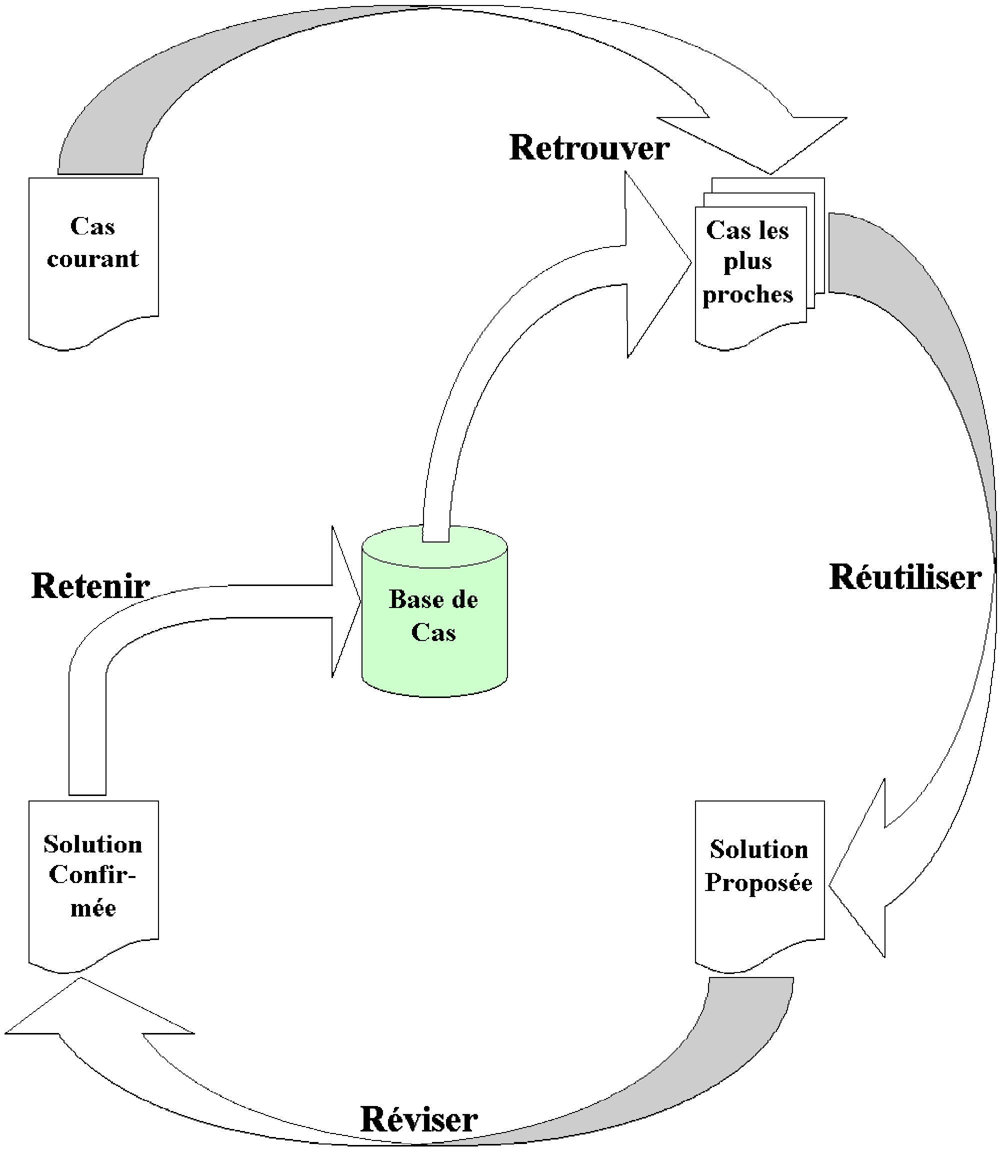



**Figure 7 : Cycle du Raisonnement à Partir de Cas**

Un cas courant, composé d'un problème à résoudre, est donné par l'utilisateur. Ce cas est comparé aux cas précédemment enregistrés dans la base de cas, chacun d'eux étant composé d'un problème et de sa solution. La comparaison est effectuée par le calcul d'une **mesure de similarité**, somme pondérée des comparaisons locales des différents descripteurs d'un problème (ceci correspond à l'étape « retrouver » de la figure). Les cas ayant obtenu les meilleurs scores par cette mesure sont déclarés **plus proches voisins** et sont sélectionnés pour construire une solution au problème courant (étape « réutiliser »). Cette solution est alors « révisée » par l'utilisateur, puis introduite dans la base de cas pour être réutilisable pour une prochaine (étape « retenir »). Ces quatre étapes sont les « quatre R » du RàPC (Aamodt, 1995 ; Mille & Napoli 1997).

L'exécution de ce cycle permet de créer une base de connaissance sur des résolutions de problèmes réels et de réutiliser ces connaissances pour résoudre des problèmes futurs. Ce mode de raisonnement est très utilisé par les êtres humains dans de nombreux environnements et joue un rôle capital dans l'expertise.

Ce mode de raisonnement prend en compte le contexte de manière explicite (Kolodner, 1993), du moment que celui-ci est un élément de description des problèmes. Les autres principaux avantages de ce raisonnement sont son pouvoir de généralisation et sa capacité à s'adapter à des données manquantes (ce qui est très important dans notre domaine d'application où les caractéristiques d'un incident sont connues au fur et à mesure de l'évolution de celui-ci).

Nous voyons deux faiblesses à ce mode de raisonnement. Premièrement la plus grande partie de l'expertise se situe dans la mesure de similarité, ce qui, d'une part, rend la mise au point de ce mode de raisonnement très délicate et, d'autre part, empêche toute explication du raisonnement suivi. Deuxièmement, dans son idée fondatrice, le RàPC prévoit d'intégrer tous les nouveaux cas dans la base de cas. Dans notre domaine d'application, nous avons affaire à 2500 incidents par an sur la seule ligne 4, dont la plupart sont similaires, autant sur le plan des descripteurs que sur les stratégies appliquées pour les résoudre. Nous avons, pour cela, décidé de gérer deux bases : une base historique contenant les enregistrements de tous les incidents rencontrés et une base ne contenant que les cas typiques (que ce soit un descripteur ou une stratégie qui le rende typique). Ceci pare au second inconvénient, mais il n'y a pas de solution pour le premier respectant ce mode de raisonnement. Notre but explicatif ne peut pas être réalisé par celui-ci. Aussi nous sommes-nous tournés vers un mode de raisonnement plus structuré : le raisonnement à base de règles.

## 3.3 Raisonnements basés sur des règles

Nous présenterons ici un bref aperçu des raisonnements à base de règles, orienté vers notre application. Puis nous présenterons la démarche qui, partant des arbres de décision, nous a fait aboutir au modèle de graphes contextuels.

### 3.3.1 Raisonnement à base de Règles

Les raisonnements à base de règles sont des raisonnements fondés sur l'enchaînement de règles de production. Les règles de production sont des entités structurées composées de deux parties : **les conditions** et **l'action**, se présentant sous la forme :

```
SI conditions ALORS actions
```

Ces modes de raisonnements ont étés largement étudiés en intelligence artificielle et étaient à la base des premiers systèmes experts. Classiquement les règles sont conservées dans une **base de règles**. Le raisonnement est alors le suivant : étant donné des éléments de connaissances et une base de règles, que puis-je conclure ? L'analyse revient à l'application successive des règles, afin d'augmenter les connaissances, jusqu'à ce qu'aucune règle ne puisse être appliquée.

L'avantage principal de ce mode de raisonnement est la structure des règles qui autorise le système à expliquer le cheminement de sa « pensée ». Ainsi un système doté d'un tel mode de raisonnement est capable d'aider l'utilisateur en fournissant une solution et des explications sur la manière d'arriver à cette conclusion.

Mais une telle représentation n'est pas dénuée d'inconvénients. En effet, pour être riche, un tel raisonnement doit être fondé sur une large base de règles, la taille de celle-ci évoluant de manière exponentielle au regard de la précision des pré-requis. De plus les règles ne sont pas organisées et de nombreuses règles peuvent partager une partie de leurs conditions. Afin de remédier à cet inconvénient, certains chercheurs ont organisé les bases en modules, qui regroupent les règles partageant un certain nombre de pré-requis et qui sont chargés lorsque ceux-ci sont vérifiés (Clancey, 1979).

Dans notre application, de nombreuses règles s'enchaînent dans un ordre défini par les contraintes techniques et l'aspect temporel est primordial. Nous proposons d'organiser les règles en vigueur dans la gestion des incidents sur une ligne de métro par une structure inspirée des arbres de décision.

### 3.3.2 Arbres de décision

Dans un premier temps, le raisonnement des CREG a été modélisé par des arbres de décision (Raïffa, 1968). Ceux-ci représentent une séquence temporelle d'actions et de nœuds de décision où un choix est fait grâce à l'analyse d'une donnée contextuelle. Ainsi nous représentons sous une forme synthétique un ensemble de stratégies applicables à un même incident dans différents contextes. L'arbre suivant correspond à l'ensemble des procédures applicables lors d'un incident de type « défaut de traction » (la signification des sigles utilisés dans les arbres ainsi qu'un résumé de la signification de cet arbre sont donnés en Annexe A).

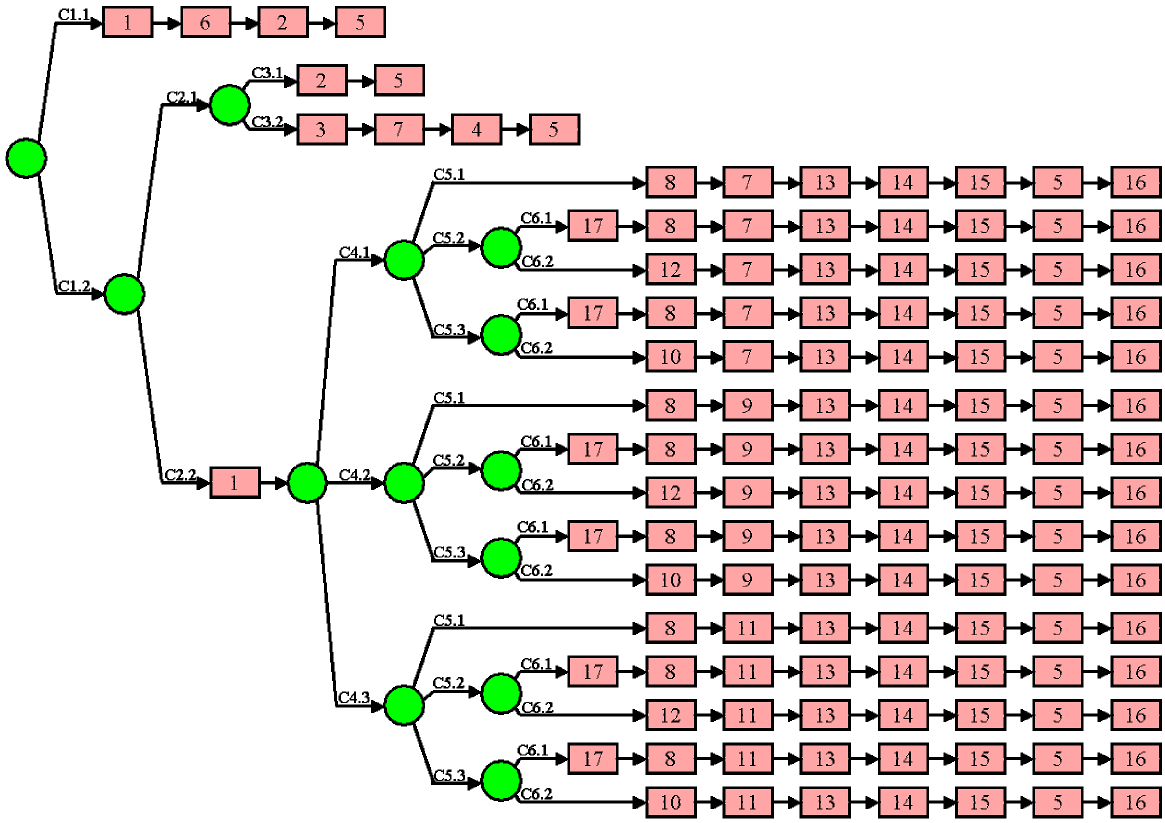



**Figure 8 : Arbre de décision**

Pour établir une stratégie de résolution d'un incident dans un contexte donné, il suffit alors de suivre les instructions dans l'ordre dans lequel nous les rencontrons en suivant les branches qui correspondent à ce contexte. Par exemple, dans l'arbre précédent, si nous cherchons une stratégie applicable dans la situation “ réparation immédiate impossible, pas assez de puissance pour repartir seul, train avarié en station et train suivant en station ”, alors la stratégie à suivre est obtenue en suivant les chemins “ C12, C22, C41 et C51 ”. La stratégie à appliquée est alors la séquence d'actions 1, 8, 7, 13, 14, 15, 5 et 16, qui correspond à organiser le trafic résiduel, évacuer le train avarié en station, évacuer le train suivant en station, amener le train suivant à hauteur du train avarié, faire le convoi, pousser le train avarié jusqu'en terminus, garer le train avarié et défaire le convoi.

Cette représentation correspond à un raisonnement basé sur des règles. Par exemple, l'arbre de la Figure 8 est identifiable à la base de règles :

```
Si C11                        Alors actions 3, 7, 4 et 5
Si C12 et C21 et C31          Alors actions 2 et 5
Si C12 et C21 et C32          Alors actions 3, 7, 4 et 5
Si C12 et C22                 Alors action 1
Si C12 et C22 et C41 et C51  Alors actions 8, 7, 13, 14, 15, 5 et 16
Si C12 et C22 et C41 et C52 Alors actions 10, 7, 13, 14, 15, 5 et 16
…
```

Cette base de règles peut être organisée en modules, comme par exemple un module chargé dans les contextes (C11), un autre dans le contexte (C12 et C21) et un troisième dans le contexte (C12 et C22). Ce fait nous permet de réutiliser certains principes du raisonnement à base de règles.

Toutefois les caractéristiques de notre domaine d'application font que les arbres de décision ainsi obtenus sont très particulier. Les principales différences avec un arbre de décision classique sont :

1. Les branches représentent différents moyens de retourner à une situation normale d'exploitation, alors que les arbres de décision classiques ont des branches qui aboutissent à des situations différentes les unes des autres.
2. On observe une accumulation des actions sur le bout des branches. Ceci est dû au fait que, face à un incident, les CREG cherchent d'abord à recueillir un maximum d'informations avant de choisir une stratégie. Quelques actions sont toutefois effectuées avant une connaissance totale de la situation (par exemple l'action 1 dans l'arbre présenté, qui correspond à une action de régulation des autres trains).
3. Des séquences d'actions identiques sont portées par différentes branches. Ceci révèle l'existence d'invariants de l'action, qui sont en fait des petites procédures telles que « partir Haut Le Pied », « évacuer les voyageurs »… Celles-ci sont bien connues des CREG et partagées par l'ensemble de ceux-ci.
4. De nombreuses branches se terminent par les mêmes séries d'actions. Par exemple, lorsqu'une rame a besoin de secours, la stratégie consiste à évacuer la rame avariée et la rame de secours (le mode d'évacuation dépend de la position des différentes rames concernées, on a alors plusieurs branches dans l'arbre), puis à faire un convoi (celui-ci est réalisé toujours de la même façon, quelle que soit la position des rames). En réalité, l'exécution des actions précédentes a permis de se ramener à une situation commune. La même série d'actions permet alors de retrouver une situation d'exploitation normale.
5. Dans l'arbre de la Figure 8, nous n'avons pas montré les inversions possibles d'actions, notamment celles qui décrivent l'évacuation des voyageurs des deux rames concernées par la procédure de secours, le cas échéant. Le modèle d'arbre de décision ne peut pas représenter ceci en tant que tel et la seule solution dans ce modèle est la multiplication des branches concernées.

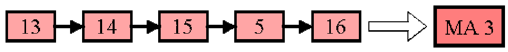
Ces cinq différences majeures entre les arbres de décision que nous obtenons et les arbres de décision traditionnels nous permettent d'adapter le modèle à notre domaine d'application hautement contextuel.

Plusieurs inconvénients majeurs sont connus pour la représentation avec des arbres de décision, notamment une tendance à l'explosion combinatoire. Nous avons été très tôt confrontés à celle-ci, car les éléments contextuels qui rentrent en compte dans la prise de décision sont très nombreux, et la considération d'un nouvel élément peut doubler la taille de l'arbre ! Nous avons donc cherché à simplifier cette représentation, afin de l'adapter à notre domaine d'application, en nous appuyant sur les remarques faites ci-dessus.

### 3.3.3 Macro-actions

Premièrement, comme précisé dans la remarque 3 ci-dessus, de nombreuses séquences d'actions, qui sont exécutées dans le même ordre, sont répétées dans l'arbre, par exemple la séquence suivante :


Nous introduisons alors la notion de **macro-action** pour parler de ces séquences. Ceci permet de remplacer, sur les branches concernées, une séquence d'actions par un seul objet regroupant ces actions.

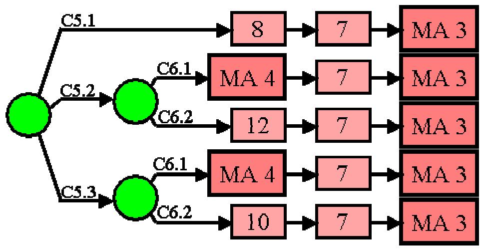



Le choix des macro-actions se fait en respectant les unités d'action connues des opérateurs. Par exemple, la macro-action 1 est connue des opérateurs sous le terme " reprise du service voyageur ", la macro-action 2 correspond à " partir haut le pied "… l'arbre résultant de l'introduction de macro-actions dans l'arbre précédent est dans l'Annexe A.

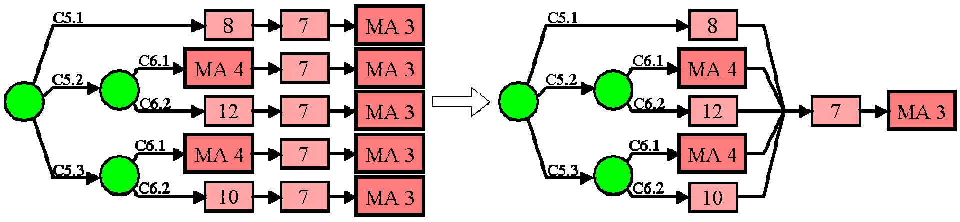
Cette première transformation d'un arbre de décision permet une lecture plus facile, d'une part par une simplification de l'arbre lui-même, et, d'autre part, par l'introduction d'éléments (les macro-actions) qui correspondent plus à la compréhension des CREG que les séquences d'actions : Un CREG donnera l'ordre à un conducteur de partir « haut le pied », et ne rentrera dans le détail de la séquence d'actions correspondante, qu'il suppose connue du conducteur, que si ceci est nécessaire (exploitation des connaissances partagées).

### 3.3.4 Des arbres aux graphes

L'introduction de macro-actions permet d'y voir un peu plus clair dans l'arbre, mais ce n'est pas suffisant, car l'explosion combinatoire n'est toujours pas contrôlée. Nous remarquons également, dans notre cas, que de nombreuses branches se terminent suivant la même séquence d'actions (remarque n°4), comme ceci est montré dans le rappel ci-dessous d'une partie de l'arbre (premier des trois grands branchements à la fin de l'arbre, correspondant à la situation C1.2, C2.2 et C4.1).



La raison profonde de ceci est que les connaissances contextuelles ayant engendré ces branches ne sont plus procéduralisées (ne sont plus utilisées pour le choix des actions à cette étape du raisonnement). Par la réalisation des premières actions portées par les branches en question, nous nous sommes ramenés à une situation commune (du point de vue actuel). Il est donc naturel de chercher à combiner ces branches, qui n'ont plus de raisons d'être différenciées.




Cette étape permet d'enrichir le modèle en considérant le dynamisme de l'état de connaissances contextuelles. Dans les modèles précédents, dès qu'une connaissance contextuelle est procéduralisée, elle le reste jusqu'à la fin du raisonnement. Ce qui ne reflète pas la réalité de la prise de décision chez les CREG. Dans ce nouveau modèle, une connaissance contextuelle procéduralisée redevient une connaissance contextuelle simple dès lors que le décideur n'appuie pas son choix sur cet élément. Ainsi, le fait de savoir où se situe une rame par rapport à la station est important lorsque la rame doit être évacuée, mais n'influe pas sur les décisions dès que les voyageurs sont sortis. Ce fait est désormais pris en compte dans le modèle, grâce à la recombinaison des branches de l'arbre.

Nous obtenons alors une structure de graphe et non plus arborescente (voir figure en Annexe A). Cette étape est capitale, car elle contrôle la taille de la structure représentant le raisonnement et, qui plus est, prend en compte la dynamique des éléments du contexte. En effet, la procéduralisation d'une connaissance contextuelle a lieu lors de la séparation de branches à un nœud de décision ; et la déprocéduralisation à lieu lors de la recombinaison de ces branches. De plus, le fait de passer à une structure de graphe augmente les possibilités d'extensions du modèle.

### 3.3.5 Prise en compte de notions temporelles

Nous en profitons pour enrichir le modèle en introduisant la notion d'indépendance temporelle (inspirée de la gestion de projets industriels), représentée par un nouveau type de **branchement dit temporel**. Celui-ci signifie que les séquences d'actions qui se trouvent sur ses différentes branches doivent toutes être exécutées avant la fin de ce branchement, mais qu'elles peuvent être réalisées dans n'importe quel ordre. Par exemple, l'ordre dans lequel les trains avarié et de secours doivent être évacués n'est pas important, seul le fait qu'ils le soient avant la formation du convoi est important.

### 3.3.6 Graphes contextuels

Nous obtenons ainsi un modèle permettant de représenter des raisonnements structurés guidés par l'action, l'état d'un système et la situation. Nous appelons ce modèle **graphes contextuels**, car ils permettent de représenter des raisonnements basés sur le contexte et également la dynamique des états des connaissances contextuelles. En effet, une connaissance contextuelle est procéduralisée au moment où un nœud de choix pose la question de sa valeur et elle est déprocéduralisée lorsque au moins deux de ses branches se rejoignent. La Figure 9 montre le graphe contextuel correspondant à l'exemple traité tout au long de cette présentation. On pourra apprécier la concision de la représentation et sa lecture aisée.

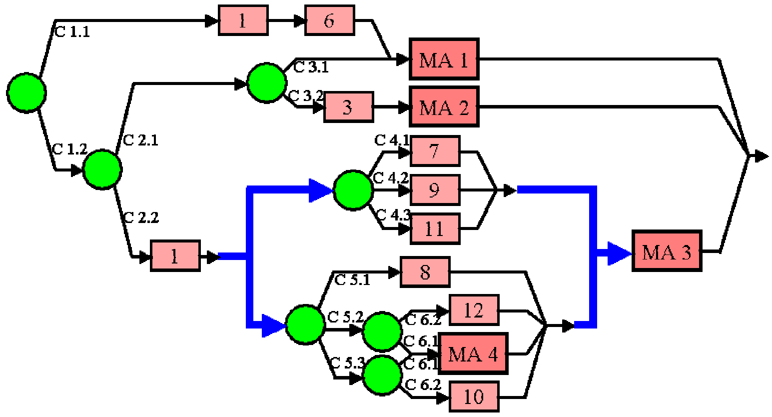



**Figure 9 : Graphe contextuel**

Suivant ce modèle, nous pouvons désormais élargir les critères de sélection des stratégies et modéliser des raisonnements plus perfectionnés qu'avec les arbres de décision. Ainsi il est utilisable pour des applications industrielles de grandes tailles.

Le modèle se présente sous forme d'un graphe orienté avec une source et un puits uniques. Ce type de graphe fait partie des graphes les plus faciles à exploiter. Nous pouvons ainsi réutiliser les nombreux algorithmes mis à notre disposition par la recherche opérationnelle.

### 3.3.7 Graphes contextuels et schèmes d'action

En allant encore plus loin dans la description des raisonnements basés sur le contexte et sur le modèle des graphes contextuels, nous remarquons que certains sous-graphes sont communs à des graphes représentant des raisonnements visant à résoudre des incidents de diverses natures. Ces sous-graphes ont de plus une signification auprès des opérateurs, et peuvent être expliqués même lorsqu'ils sont sortis d'un contexte d'incident particulier.

Aussi trouvons-nous logique de les extraire des graphes de résolution d'incident et de les remplacer dans ceux-ci par un lien vers ces graphes. Nous obtenons alors un ensemble de graphes contextuels qui s'appellent les uns les autres et qui tiennent compte du contexte pour résoudre un certain problème (soit un incident, soit un but à atteindre lors de la résolution d'incidents).

Ces graphes se comportent comme les schèmes d'action identifiés par les psychologues et les spécialistes d'ergonomie cognitive (Piaget, 1930 ; Vergnaud, 1985 ; Rabardel, 1995 ; Galinier, 1996) lors de l'analyse d'activités humaines. Les schèmes ont été à l'origine des travaux de Schank et Abelson (19??) sur les scripts, mais la puissance des ordinateurs de l'époque l'obligea à réduire le modèle proposé par Piaget. D'autres travaux ont fait évoluer les scripts, tels que ceux aboutissants aux « Memory Organization Packets » (Schank, 1982), mais aucun ne repart des résultats des ergonomes. Notre approche repart des bases ergonomiques et nous travaillons sur ce point avec Zanarelli doctorante en ergonomie cognitive à la RATP sur un sujet rencontrant partiellement le nôtre (Zanarelli, 1998).

La Figure 10 montre le raisonnement permettant de résoudre les incidents de type « effort de traction diminué », modélisé par les graphes contextuels et les schèmes d'action.

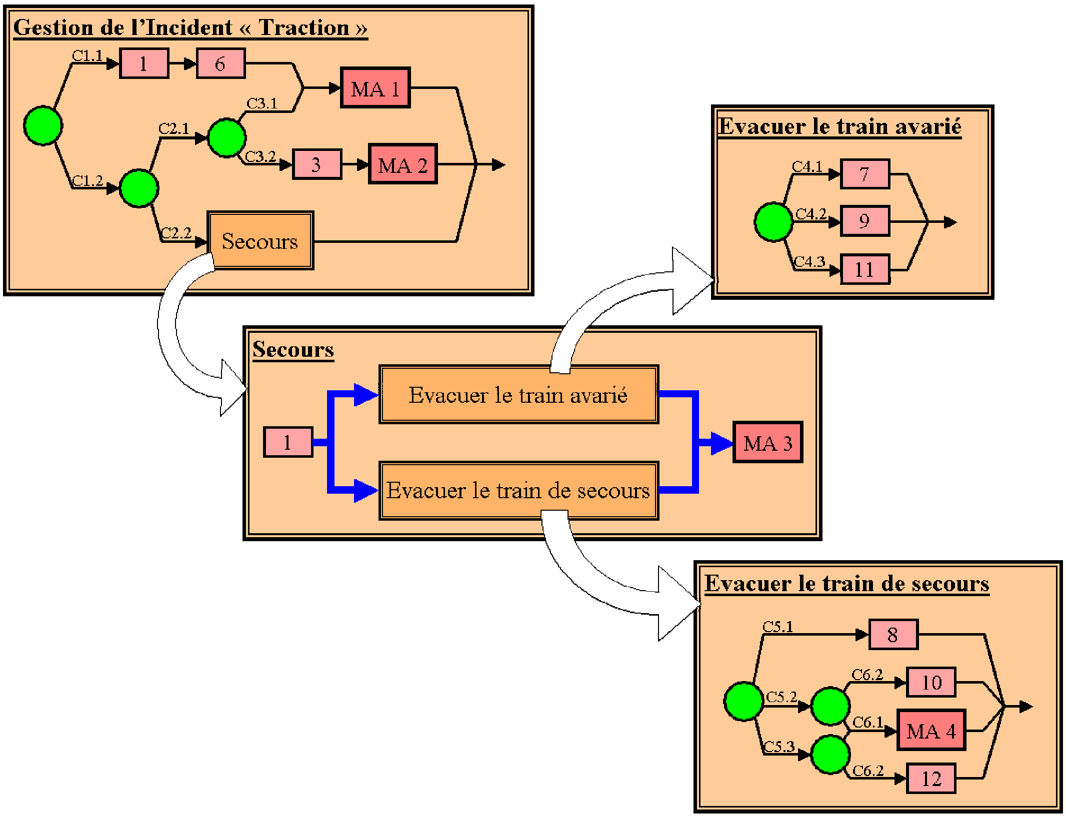



**Figure 10 : Graphes contextuels et schèmes d'action**

On retrouve dans ce modèle la modularité proposée pour des bases de règles, mais enrichie par la structuration renforcée des graphes contextuels. Notre modèle permet de créer des structures directement manipulables par un ordinateur qui représentent finement des activités cognitives humaines. Ainsi les explications fournies par le système à l'utilisateur seront facilement assimilables. De plus, ces explications peuvent être données à différents niveaux de granularité, comme ceci est possible dans le modèle de graphe conceptuel de Sowa (1992). Il est clair que les développements de ce modèle dépasse le cadre de la gestion d'incidents sur une ligne de métro.

## 3.4 Raisonnements et apprentissage

Nous venons de présenter les deux modes de raisonnement associés dans SART pour l'aide à la gestion d'incident. Comme précisé dans la section 2.2, la prise en compte du contexte est un élément important de la réussite d'un outil d'aide dans notre domaine d'application, mais il est également nécessaire de mettre à jour les bases de connaissances à chaque instant. Ceci ce fait grâce à l'apprentissage des nouvelles connaissances. Nous allons présenter, dans cette section, les mécanismes d'apprentissage associés aux deux modes de raisonnement choisis, que nous avons commencé à étudier.

### 3.4.1 Apprentissage dans le Raisonnement à Partir de Cas

Le Raisonnement à Partir de Cas, de par sa définition, inclut l'apprentissage (Kolodner, 1993). Celui-ci se situe dans la phase « retenir » du cycle du RàPC (voir la Figure 7, page 19). Dans notre application, l'existence de deux bases d'incidents complique légèrement cette phase. Chaque cas d'incident sera enregistré dans la base d'historique des incidents, mais seuls les cas les plus typiques seront inclus dans la base de cas typiques.

La typicité du cas courant est calculée en comparant les cas les plus proches et le cas courant. Deux situations peuvent conduire à la mémorisation du cas courant en tant que cas typique. Si celui-ci contient des descripteurs d'incident ou de contexte différents des cas les plus proches, alors il est gardé afin d'augmenter la précision de la recherche de cas similaires. Si la stratégie appliquée est différente de celles appliquées pour les cas ayant des descripteurs d'incidents et de contexte identiques, alors le cas est également enregistré afin de diversifier les stratégies proposées pour la résolution d'un même incident.

L'apprentissage dans ce mode de raisonnement se résume à l'insertion du cas courant dans la base de cas. Ce n'est pas aussi simple pour le raisonnement basé sur les graphes contextuels.

### 3.4.2 Apprentissage dans les Graphes Contextuels

En ce qui concerne les graphes contextuels, l'apprentissage correspond à la combinaison de la stratégie appliquée pour résoudre l'incident actuel et des graphes correspondants. L'algorithme d'apprentissage a été étudié dans (Niang, 1999).

Etant donnée une stratégie (une séquence d'actions réellement menées sur le terrain), le contexte de l'incident et ses descripteurs (type, cause, événement incidentel), le but de l'algorithme est d'insérer la séquence d'actions dans le graphe correspondant à l'incident en question en tenant compte des éléments de contexte et des choix faits par l'opérateur. L'algorithme restreint dans un premier temps le graphe en désactivant les branches non concernées par le contexte. Il compare ensuite le graphe ainsi restreint à la séquence et cherche le chemin le plus similaire. Si la séquence ne correspond pas totalement à un chemin connu, on combine les éléments communs et on ajoute les branchements conditionnels formant une déviation du chemin sélectionné. Les éléments permettant de définir la condition à analyser pour le choix de ces branchements sont demandés à l'utilisateur.

L'apprentissage en lui-même est terminé. Il reste à simplifier le graphe obtenu en détectant les séquences indépendantes au niveau temporel et à vérifier la cohérence des différents schèmes d'action concernés par la stratégie appliquée pour résoudre l'incident courant.

# 4 Implémentation

Actuellement, la modélisation des objets du domaine a été implémentée en C++. Ces objets seront utiles pour l'analyse d'un incident et la spécification de la stratégie appliquée. En ce qui concerne le Raisonnement à Partir de Cas et le raisonnement basé sur les Graphes Contextuels, seuls des algorithmes et des spécifications sont actuellement disponibles.

## 4.1 Modélisation des connaissances du domaine

Les connaissances du domaine se présentent suivant une modélisation de type « orientée objet ». Les principales classes ont été ensuite. Pour chaque classe les méthodes[1] de bases ont

---

[1] En programmation orientée objet, nous appelons « méthode » une fonction associée à une classe.

été développées (constructeurs, destructeur, méthodes et opérateurs d'affichage, lecture dans un fichier, comparaisons éventuelles…). Ces classes seront ensuite utilisées comme base de réflexion par les différents agents d'aide à la gestion d'incidents de SART.

## 4.2 Raisonnement à Partir de Cas

Plusieurs éléments sont importants dans le Raisonnement à Partir de Cas. Parmi ceux-ci, nous nous intéressons ici à la structure des cas, à l'organisation de la base de cas et à la mesure de similarité.

### 4.2.1 Structure des cas

Chaque cas sera enregistré dans un fichier informatique composé des principaux éléments suivants :

1. Les descripteurs de l'incident : le type, la cause, les événements qui l'ont annoncé au CREG…
2. Les descripteurs du contexte. Ceux-ci sont de deux types : certains éléments sont communs à tous les incidents et sont donc toujours enregistrés (date, heure, type de jour, type d'exploitation, lieu de l'incident… ), d'autres sont utiles que pour certains types d'incidents (par exemple le numéro de la rame n'est utile – et défini – que lorsqu'une rame est mise en cause ou touchée par l'incident) et ne sont donc enregistrés que lorsqu'ils ont un sens et un impact sur la résolution de l'incident.
3. La stratégie appliquée pour résoudre l'incident. Cette stratégie est enregistrée sous la forme de deux séquences d'actions, une qui décrit les actions menées pour résoudre l'incident même (gestion locale) et l'autre qui décrit les actions menées pour réguler le trafic résiduel (gestion globale).
4. Des descripteurs permettant d'estimer la valeur de la stratégie. Ces critères sont notamment le retard, le retard cumulé, additionnés, peut-être, d'une auto-évaluation de la part du CREG de la valeur de sa stratégie.

Les types d'incidents et les causes ont été étudiées. Ces deux descripteurs de l'incident sont organisés suivant des hiérarchies données en annexe (Annexe B et Annexe C). Les événements incidentels ont été proposés comme descripteurs importants d'un incident, car, étant la première information obtenue par le CREG sur l'incident, ils influencent grandement la stratégie appliquée.

Les descripteurs d'un incident sont les éléments sur lesquels reposent le RàPC. Aussi est-il important de bien les étudier, premièrement pour les définir de manière efficace, deuxièmement pour bien comprendre leur rôle dans la prise de décision (ceci permet de faciliter la mise au point de la mesure de similarité).

### 4.2.2 Organisation de la base de cas

Un autre élément important du RàPC pour notre application est le grand nombre d'exemples. Ceci nous a déjà poussé à gérer deux bases d'incidents, mais le nombre de cas typiques (ceux qui nous intéressent ici pour le RàPC) est encore élevé. Aussi organisons-nous la base de cas suivant une arborescence de répertoires, chaque passage d'un répertoire à un sous-répertoire affinant la recherche.

Pour cela nous avons cherché les critères, communs à tous les enregistrements, qui créent des partitions de plus en plus fines de la base de cas. Ce travail est fondé sur les résultats de Zanarelli (1999) sur les classes de situations rencontrées lors de la gestion d'incidents au PCC, notamment les dimensions de différenciation. Pour des raisons techniques de communication entre les systèmes, le premier critère de partition des cas sera la ligne. Les suivants ne sont pas encore ordonnés, mais nous devrions retrouver parmi eux : le type d'heure (pointe ou creuse), le type de jour (jour ouvrable, samedi ou dimanche et fêtes), l'événement incidentel… Cette liste n'est pas encore définie, car nous devons d'abord savoir comment se comporte le système pour choisir un critère d'arrêt dans la partition de la base.

### 4.2.3 Mesure de similarité et contexte

La mesure de similarité est un autre élément sensible du RàPC. Sa définition est simple d'un point de vue formel, mais la mise au point des poids de la mesure est délicate et demande une expertise de haut niveau. Cette étape sera facilitée par l'analyse des résultats de Zanarelli (1999) sur les facteurs de pondération.

Dans notre domaine, certains éléments contraignent si fortement la résolution d'un incident qu'il semble naturel de leur donner plus d'importance. Nous avons pensé à définir différentes mesures de similarité, sélectionnées par ces dimensions de différenciation. Là aussi les résultats de Zanarelli sont de première importance pour la sélection des éléments de contexte et de leur rôle lors de la prise de décision. Cette idée, que l'on retrouve chez Mignot (1997) sous l'appellation « similarité contextuelle », sera testée dès que nous aurons codé le moteur de raisonnement et qu'une base de cas conséquente aura été entrée.

## 4.3 Raisonnement à base de Graphes Contextuels

Les graphes contextuels vont être utilisés pour représenter à la fois les procédures et les stratégies. Ces deux bases de connaissances seront constituées d'un ensemble de structures, qui regroupent un but, un contexte d'exécution (pré-requis d'exécution, tels que « le courant doit être coupé avant toute intervention sur la ligne ») et d'une description de la manière d'atteindre le but recherché en fonction du contexte actuel (description sous forme de graphe contextuel).

L'exploitation de ces structures ne pose pas de problème particulier au niveau de la programmation. Les graphes contextuels et schèmes, ainsi que leur utilisation et l'apprentissage, sont en cours de spécification et seront codés d'ici peu. Nous pourrons alors commencer à développer les interactions avec l'utilisateur et les autres agents, notamment l'archiviste, le conseiller et le courtier.

# Conclusion et perspectives

Dans ce rapport, nous avons résumé le cadre de notre travail et les résultats obtenus pendant le stage de DEA et cette première année de thèse.

Le projet franco-brésilien SART est en cours de développement à Paris et à Rio de Janeiro. Sa structure de type multi-expert permet de développer les différentes fonctionnalités à partir d'une même structure de base, ce qui autorise le partage de connaissances entre les experts. Les différents agents peuvent être toutefois implémentés par plusieurs équipes, ce qui accélère le développement du système.

Ces travaux ont des conséquences sur les trois agents d'aide à la gestion des incidents : l'archiviste, le conseiller et le courtier. Ces trois agents partagent les structures des éléments de connaissances sur la gestion d'incidents, que ce soient les enregistrements d'incidents (base du Raisonnement à Partir de Cas) ou les graphes contextuels (qui modélisent les procédures et stratégies de résolution d'incidents). Ces deux modes de représentation tiennent compte de la situation réelle de l'incident en intégrant les éléments primordiaux du contexte. Ceci affine les connaissances enregistrées et utilisables par les experts.

L'apprentissage est également un élément capital pour la survie d'un système d'aide, surtout dans des domaines d'application aussi techniques et vastes que la gestion d'incidents sur une ligne de métro. Ce point a fait l'objet de recherches, notamment en ce qui concerne les graphes contextuels, qui sont des structures nouvelles.

Nous allons maintenant intensifier l'implémentation de ces structures et des algorithmes d'apprentissage. Les premiers tests et l'initialisation des bases de connaissances nous feront appréhender l'interfaçage entre les agents et l'utilisateur, notamment en ce qui concerne les dialogues.

# Bibliographie


**Aamodt, A.** (1995). Knowledge acquisition and learning by experience - the role of case-specific knowledge. *Machine Learning and Knowledge Acquisition, Integrated Approach. Boston, Massachusetts*, Academic Press, pp 197 - 245.

**Brézillon, P.** (1995). Intellignet support to operators througn cooperation, *Symbiosis of Human and Artifact. Proceedings of the Sixth International Conference on Human-Computer Interactions,* Elsevier, Amsterdam, Netherlands, pp 385 – 390.

**Brézillon, P., Gentile, C., Saker, I. & Secron, M.** (1997). SART: A system for supporting operators with contextual knowledge. *First International and Interdisciplinary Conference on Modeling and Using Context (CONTEXT'97)*, Rio de Janeiro, Brasil, pp 209 - 222.

**Brézillon, P., Pomerol, J.-C. & Saker, I.** (1998). Contextual and contextualized knowledge: an application in subway control, *International journal on Human-Computer Studies*(48), pp 357 - 373.

**Brézillon, P., Pasquier, L. & Saker, I.** (1999). Context-Based Decision Making in Incident Management on a Subway Line. *Human Centered Processes HCP'99*, Brest, France, Espace Edition ENST-Bretagne, pp 129 - 134.

**Burstein, M.H.** (1989). Analogy vs CBR: The purpose of mapping, *proceedings of the Second CaseBased Reasoning Workshop*, Pensacola Beach, Floride. DARPA, Morgan Kaufmann.

**Clancey** (1979). Tutoring rules for guiding a case method dialogue, *International Journal of Man-Machine Studies* **11**(1), pp 25 - 49.

**CONTEXT'97** (1997). International and Interdisciplinary Conference on Modeling and Using Context. *Rio de Janeiro, Brazil*.

**CONTEXT'99** (1999). Modeling and Using Context. *Heidelberg, Germany*, Paolo Bouquet, Luciano Serafini, Patrick Brézillon, Massimo Benerecetti, Francesca Castellani (Eds.).

**De Brito, G. & Boy, G.** (1999). Situation awareness and procedure following. *CSAPC'99*, Villeneuve d'Ascq, Presses Universitaires de Valenciennes, pp 9 - 14.

**Galinier, V.** (1996). Apports de l'ergonomie à la conception d'instruments : concevoir autour des schèmes d'utilisation. un exemple dans le domaine du transport routier. *Paris*, CNAM, .

**Kolodner** (1993). Case-Based Reasoning. *San Mateo, Californie*, Morgan Kaufmann.

**McCarthy, J.** (1993). Notes on formalizing context. *Thirteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'93)*, Chambery, France, R. Bajcsy, pp 555 - 560.

**Mignot, H.** (1997). Sensibilité au contexte lors de l'évaluation de similarité en raisonnement à partir de cas. Laboratoire de recherche en informatique. *Paris*, Université Paris-Sud, pp 175.

**Mille, A. & Napoli, A.** (1997). Aspects du raisonnement à partir de cas. *6èmes Journées nationales PRC - GDR IA'97.*

**Niang, D.** (1999). Méthodes et techniques d'Intelligence Artificielle pour prévenir l'explosion combinatoire. Application au gestionnaire d'Incidents de SART. Laboratoire d'Informatique de Paris 6, *Paris*.

**Pasquier, L.** (2000). Gestion d'incidents sur une ligne de métro. Modélisation de raisonnements tenus en contexte et application aux agents d'aide à la gestion d'incidents de SART. RATP, *Paris, France*.

**Piaget, J.** (1936). La naissance de l'intelligence chez l'enfant. *Paris, Lausane*.

**Pomerol, J.-C. & Brézillon, P.** (1999). Dynamics between Contextual Knowledge and Proceduralized Context. *CONTEXT'99*, Trento, Italy, Springer, pp 284 - 295.

**Rabardel, P.** (1995). Les Hommes et les technologies. Approche cognitive des instruments contemporains. *Paris*, A. Colin.

**Raïffa,** (1968). Decision Analysis, Mac Graw Hill.

**Saker, I.** (1999). Modélisation des connaissances en contexte. Application à la gestion d'incidents sur une ligne de métro. Laboratoire d'Informatique de Paris 6. *Paris, France*, Université Pierre et Marie Curie.

**Schank, R. & Abelson, R.** (19??). Scripts, Plans, Goals and Understanding.

**Schank, R.** (1982) Dynamic Memory: a Theory of Learning in Computers and People. Cambridge University Press, UK.

**Sowa, J. F.** (1992). Conceptual Graphs Summary. *Conceptual Structures - current research and practice*. T.E. Nagle, J.A. Nagel, L.L. Gerholz & P.W. Eklund. *New York*, Ellis Horwood, pp 3 - 51.

**Sun, R.** (1995). Robust reasoning: integrating rule-based and similarity-based reasoning, *Artificial Intelligence* **75**(2), pp 241 - 295.

**Turner, R. M.** (1997). Context-Mediated Behavior for Intelligent Agents. Department of Computer Science, University of Oronto, Maine.

**Vergnaud, G.** (1985). Concepts et schèmes dans la théorie opératoire de la représentation, *Les Représentation, Psychologie Française* **30** (3 et 4), pp 245 - 252.

**Wielinga, B. & Schreiber, G.** (1997). Configuration-design problem solving, *IEEE-Expert* **12** (2), pp 49 - 56.

**Zanarelli, C.** (1998). Identifier des classes de situations caractéristiques : quels critères de différenciation des situations sont utilisés par les chefs de régulation et les chefs de départ. *Paris, France*, RATP.

**Zanarelli, C.** (1999). Réflexion sur l'évolution des modes de régulation d'un réseau ferroviaire urbain : application de l'approche instrumentale par identification de classes de situations caractéristiques. *XXXIVe congrès de la SELF*, Caen, France, pp 485 - 494.

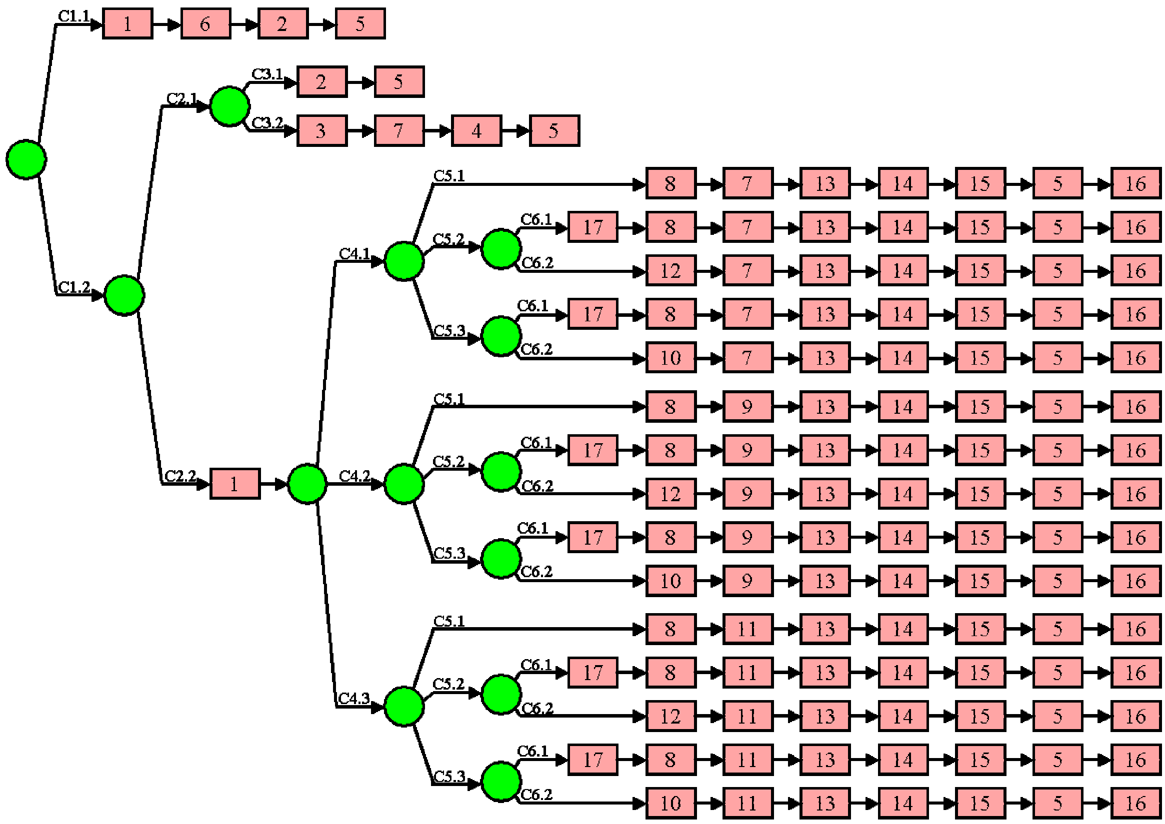
**Zanarelli, C., Saker, I. & Pasquier, L.** (1999). Un projet de coopération ergonomes/concepteurs autour de la conception d'un outil d'aide à la régulation du trafic du métro. *Ingénierie des Connaissances (IC'99)*, Palaiseau, France, Association Française pour l'Intelligence Artificielle, pp 161 - 170.

# ANNEXES

## Annexe A :

## Des arbres de décision aux graphes contextuels

Nous présentons dans cette annexe la représentation simplifiée de la procédure à appliquer en cas d'effort de traction diminué sur une rame. D'abord sous forme d'arbre de décision, avec une explication succincte de la signification des différents éléments composant la structure, puis sous forme d'arbre avec des macro-actions (voir section 3.3.3) et sous forme de graphe (voir section 3.3.4). Enfin la version sous forme de graphe contextuel (voir section 3.3.5) sera donnée.




Cet arbre représente le raisonnement suivant :

1. Si la panne est immédiatement réparable (C1.1), alors réguler le trafic résiduel (1), réparer la panne (6), reprendre le service voyageur (2) et garer la rame en terminus pour révision (5).
2. Si la panne n'est pas immédiatement réparable (C1.2), alors :
   a) Si l'effort de traction est suffisant (C2.1), alors :
      i. S'il n'y a pas de T4 entre le lieu de l'incident et le terminus (C3.1), alors reprendre le service voyageur (2), puis garer la rame en terminus pour réparation (5) ;
      ii. S'il y a un T4 (C3.2), alors reprendre le service voyageur jusqu'au T4 (3), évacuer la rame à quai (7), partir Haut le Pied (4) puis garer la rame en terminus pour réparation (5).
   b) Si l'effort de traction est insuffisant (C2.2), alors la rame avariée doit être secourue par une autre rame. Pour cela les deux rames doivent être évacuées :
      i. Si la rame avariée se trouve à quai (C4.1), alors l'évacuer à quai (7) ;

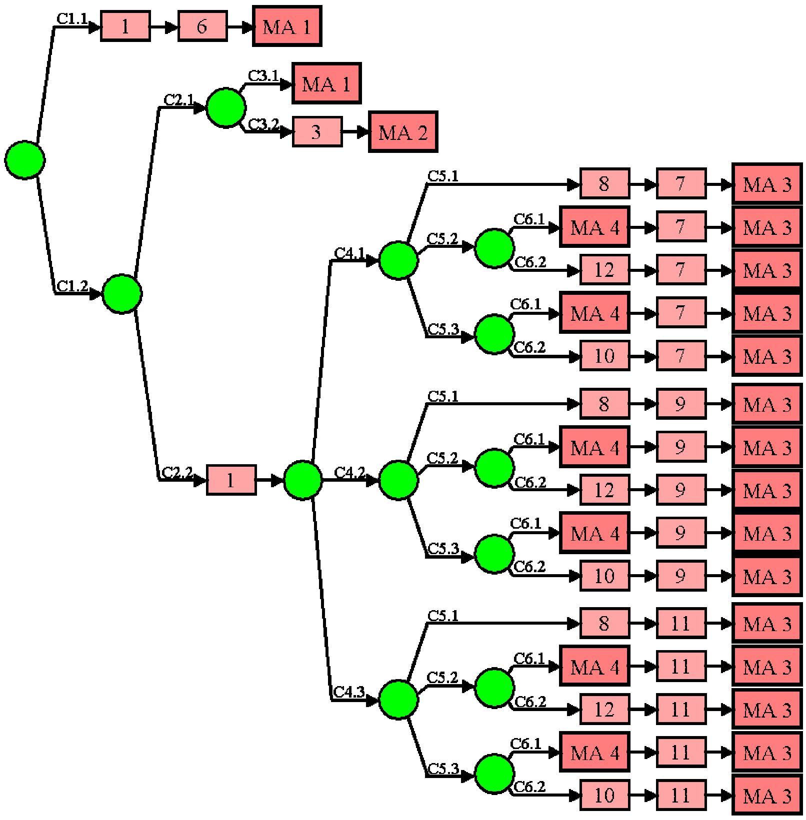
ii. Si la rame avariée est en interstation (C4.2), alors l'évacuer par la voie (9) ;

iii. Si la rame avariée est partiellement à quai (C4.3), alors l'évacuer en utilisant les portes d'intercommunication entre les voitures.

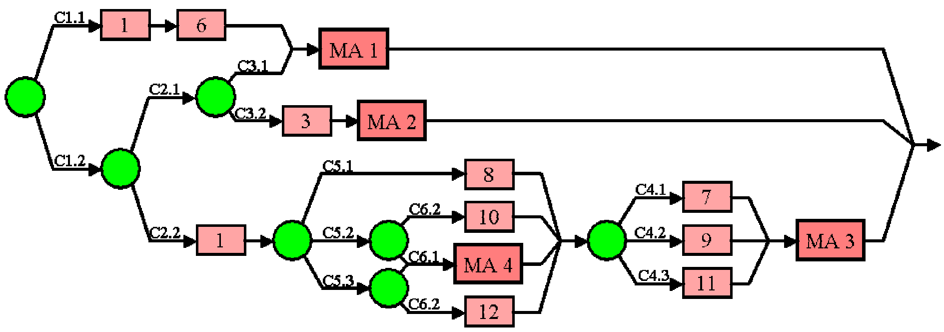
Dans le même temps, la rame portant secours doit être évacuée, suivant les mêmes critères (C5.1, C5.2 et C5.3). Toutefois, dans le cas où elle se trouve en interstation ou partiellement à quai, nous vérifierons si une station est libre entre les deux rames (C6.1), pour amener la rame de secours à quai (17) et l'évacuer dans de meilleures conditions (8). Si tel n'est pas le cas (C6.2), il faudra se résoudre, respectivement, à évacuer par les voies (10) ou par les portes d'intercommunication (12).

Une fois les deux rames évacuées, la rame de secours rejoint la rame avariée (13), les trains sont attelés (14), le convoi rentre au terminus (15), la rame avariée est garée en terminus pour réparation (5) et l'attelage est défait (16).

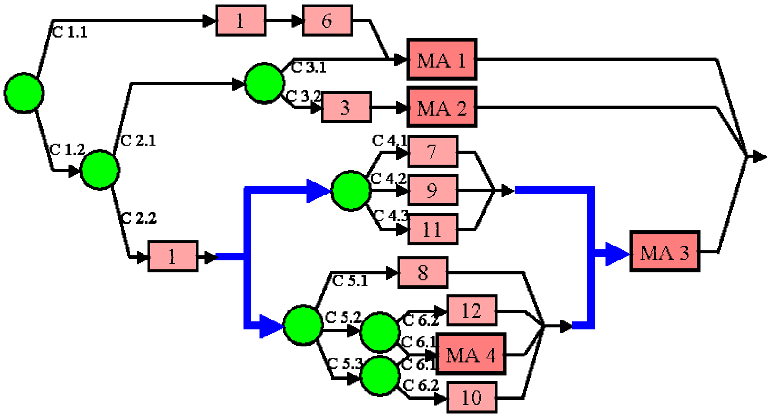
Le même arbre de décision suite à l'intégration des macro-actions dans le modèle :



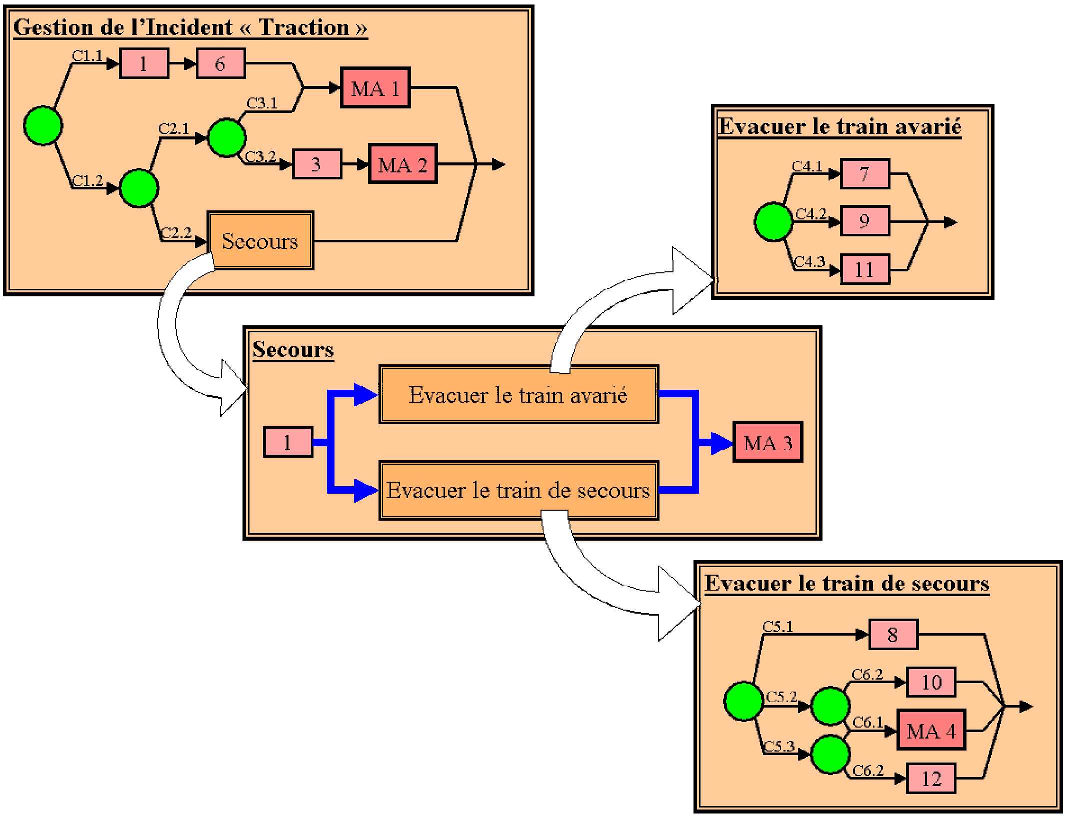
Le même « arbre » de décision après le recombinaison des branches :



La même décision représentée par un graphe contextuel :




Et finalement par des schèmes :



## Annexe B :

## Typologie des incidents

| Familles | Nature | Motif |
|---|---|---|
| Installations Fixes | | |
| | Voie | |
| | | - appareil de voie faussé |
| | | - voie affaissée |
| | | - rail cassé |
| | Alimentation traction | |
| | | - section HT |
| | | - diminution d'énergie |
| | Signalisation | |
| | | - signal fermé anormalement |
| | | - avarie = marche à vue |
| | | - itinéraire non autorisé |
| | | - divers |
| Voyageurs | | |
| | Portes du train | |
| | | - voyageur coincé par une porte |
| | | - entrave à la fermeture des portes du train |
| | Voies | |
| | | - intrusion dans les voies |
| | | - descente d'un voyageur sur les voies |
| | Actionnement du signal d'alarme du train | |
| | Actionnement du rupteur d'urgence | |
| | Accidents | |
| | Accidents graves (Ex : suicide ou tentative) | |

Matériel Roulant

Portes du train

- non fermeture
- non fermeture d'une porte
- fermeture lente d'une porte
- non ouverture d'une porte

Traction

- réduction de l'effort de traction
- non démarrage total
- marche lente

Freinage

- réduction de l'effort de freinage
- non desserrage

Dégagement de fumée sous un train

Signal d'alarme du train

Conducteurs

Retard

- à la prise de service
- au départ du terminus
- en ligne

Conditions de travail

Grève

Divers

Dégagement de fumée

Animal sur la voie

Déraillement

## Annexe C :

## Classification selon les causes des incidents

Cette typologie a été réalisée avec l'aide de deux collaborateurs brésiliens M. Secron et C. Gentile.

Sinistre

- Inondation (naturelle, d'une canalisation)
- Incendie
- Tremblement de terre
- Météo (neige, brouillard, glace, pluie forte)
- Explosion
- Fuite de gaz
- Fuite d'un liquide dangereux (acide, huile, essence)
- Dégagement de fumée
- Evénement exceptionnel

  (vol, crime, fusillade, traffic trop important, retard de prise de service)

Equipement

- Matériel roulant
  - Energie
    - Disjoncteur
    - Transformateur
    - Propulsion
      - traction
      - freinage
  - Electrique
    - Eclairage
    - Signalisation (nom du train ou du terminus)
    - Signal d'alarme
    - Avertisseur sonore (klaxon)
  - Electronique
    - Batterie
    - Pilotage automatique
    - THF
    - Sonorisation (des wagons)
  - Electromécanique
    - Climatisation (chauffage, réfrigération, ventilation)

Porte (non fermeture, fermeture lente, non ouverture,

- bloquée par une personne)

Frein

Console

- mannette de traction/freinage
- clé
- mannette de freinage

Bogie

- roue
- moteur

Compresseur (système pneumatique)

Mécanique

Porte

- d'intercommunication
- des panneaux de contrôle

Roue

Attelage des wagons

Siège (passager)

Vitre

Chassis de wagon

Essuie-glaces

Dégradation/Vandalisme

Déraillement

Traction

Installation fixe

Energie

Rail de traction

Redresseur 750Vcc

Disjoncteur

Sectionneur

Rupteur d'alarme

Transformateur

Electrique

Signalisation de quai

- SS auxiliaire
- Poste redresseur
- Rupteur d'urgence

Electronique

- Signalisation
- Pilotage automatique
- Communication
  - Téléphonie directe
  - Téléphonie à distance
  - Sonorisation
  - Télévision (pour le public, pour le conducteur)
- Balise
- Console
- Télétransmission
- TCO

Electromécanique

- Climatisation (réfrigération, chauffage, ventilation)
- Groupes électrogènes
- Portes automatiques
- Portes palières

Voie

- Rail (rail en fer, rail pour pneu, guide)
- Aiguillage
- Traverse
- Ballast
- Changement d'état (voie faussée, affaissée, cassée)

Bâtiment

- PCC
  - TCO
  - Console
  - Moyen de communication
  - Image
  - Ordinateur
- Affaissement d'un quai, d'un couloir
- Affaissement d'une voie

Canalisation (eau, gaz)
Chauffage
Voie (tunnel, station)
Station
partie publique
partie technique
sous-station
local technique

Etres vivants
Humain
Voyageur
Agent de la RATP
Agent de l'extérieur (police, pompier, ambulancier)
Autre (Enfant, SDF, Délinquant, Autres)
Groupe
groupe organisé
groupe non organisé
Animal

Objet
Abandonné
Trouvé
Réclamé
Perdu
Jeté
Encombrant