

UN SYSTEME EXPERT DE GESTION EN TEMPS REEL DES ITINERAIRES FERROVIAIRES

Raymond MOULIN
Ingénieur principal
Direction Recherche SNCF
PARIS FRANCE

Daniel GAUYACQ
Ingénieur
Direction Recherche SNCF
PARIS FRANCE

INTRODUCTION

SEPIA (Système d'exploitation de Postes d'aiguillage par Intelligence Artificielle) est un logiciel temps réel, dont l'objectif fonctionnel principal est d'automatiser la gestion des circulations ferroviaires. Il assure l'ensemble des tâches, non sécuritaires, remplies par un aiguilleur qui se traduisent in fine par l'affectation aux trains circulant dans sa zone d'action, d'itinéraires leur permettant d'assurer leur mission commerciale. Ce logiciel est en mesure de décider et de commander pour tout type de régime de fonctionnement du trafic ferroviaire qu'il soit normal, c'est-à-dire conforme à la planification, ou perturbé, donc divergent par rapport au plan : trains en retard, installations de parcours en dérangement, etc. Les difficultés liées à la nature très fortement combinatoire du problème qui interdit le recours à une approche algorithmique, ont pu être surmontées par l'utilisation de techniques d'intelligence artificielle :

- représentation de la connaissance dans des objets fonctionnellement dédiés,
- stratégie de résolution basée sur la décomposition du problème global en sous-problèmes élémentaires dont la résolution conduit à la production d'un plan d'actions,
- systèmes experts permettant l'utilisation d'heuristiques adaptées à des contextes particuliers d'exploitation.

Ce logiciel a la double ambition d'accroître la productivité du travail des aiguilleurs et d'améliorer la qualité de la gestion des circulations. Il est opérationnel en test depuis Novembre 1990 sur le poste d'aiguillage de Gargan, situé dans la proche banlieue de Paris. Ce poste comporte 15 itinéraires et gère l'accès à une voie unique. Le trafic essentiellement voyageur est du type omnibus de banlieue.

Cet article décrira successivement :

- le contexte d'exploitation dans lequel le logiciel est utilisé,
- la modélisation du problème,
- l'architecture et l'implémentation du système.

En conclusion seront présentées :

- la justification du choix des techniques utilisées,
- les perspectives d'industrialisation de ce produit.

1. LA GESTION DES CIRCULATIONS FERROVIAIRES

1.1 La gestion des circulations ferroviaires : une activité planifiée

Comme dans tout système de transport guidé, les convois ferroviaires sont assujettis à la voie qu'ils suivent. Ils ne peuvent se dépasser ou se croiser par leurs propres moyens. Pour pallier cette contrainte qui bannit a priori l'improvisation, la circulation des trains est planifiée. Cette planification s'effectue selon des critères d'espaces : national - local, et de temps : semestriel - quotidien. Elle intègre par ailleurs, de manière implicite, des contraintes héritées de planifications connexes : matériel roulant, personnel de conduite et d'accompagnement, personnel de manoeuvre et d'entretien, etc. Cette activité peut elle-même être automatisée au moyen de système expert Cf. [Moulin 88].

En exploitation, il importera donc de veiller à rester au plus près des directives de planification afin de ne pas provoquer, de manière involontaire, des perturbations dans la gestion de ces diverses ressources nécessaires au bon fonctionnement de l'activité ferroviaire. Il faut **adapter** les prescriptions du plan aux aléas du temps réel mais s'interdire, sauf cas de force majeure, des divergences trop importantes. Cette adaptation se concrétisera par une gestion opérationnelle du trafic qui se trouvera répartie sur deux niveaux hiérarchisés de prise de décisions, le poste de régulation et le poste d'aiguillage. Ils sont caractérisés chacun par l'étendue de la zone gérée, la nature des décisions qu'ils sont en droit de prendre et les rapports d'interactions et de subordinations qui les lient.

1.2 Le poste de régulation

Le régulateur intervient, en temps réel, pour superviser la gestion du trafic sur une vaste zone du réseau ferroviaire, regroupant de nombreux postes d'aiguillage. Sa mission est double. Il doit :

- coordonner et optimiser globalement la circulation des trains,
- produire de l'information sur l'évolution du trafic. Cette information est ensuite répercutée aux agents gérant les postes d'aiguillage afin qu'ils en tirent les enseignements leur permettant d'assurer au mieux la gestion de la zone dont ils ont la responsabilité.

La stratégie de régulation du trafic est pour l'essentiel dépendante du type de ligne à réguler (zone linéaire ou zone nodale). les modes d'action du régulateur sur les circulations consistent pour l'essentiel à agir sur l'ordre de succession des trains ou leurs horaires

Ces stratégies peuvent être complexes à mettre en oeuvre en raison de la prise en compte d'impératifs commerciaux et des limites physiques des installations fixes. A chaque stratégie correspondent des prises de décisions permettant de l'inscrire dans la réalité : choix du lieu de garage et du train à faire stationner, train à privilégier lors d'une circulation à contre-voie ou sur une convergence, train dont le départ doit être retardé ou dont la mission doit être modifiée pour assurer une desserte minimale de gares lors d'un incident majeur, etc. Ce problème a déjà fait l'objet de plusieurs essais d'automatisation, notamment : [Araya 85] [Tomii 90] [Rossi 90].

La mise en oeuvre des décisions du régulateur est ensuite déléguée à la fonction aiguilleur.

1.3 Le poste d'aiguillage

L'orientation des trains ne dépend pas de la conduite des engins moteurs mais elle est tributaire des installations situées au sol. Ces dispositifs, constitués d'aiguilles, permettent de diriger le mobile sur la voie de circulation choisie. Les mécanismes de commande des aiguilles sont pour l'essentiel, centralisés dans des postes d'aiguillage depuis lesquels il est ainsi possible de commander des itinéraires complets. Le problème traité par un poste d'aiguillage est donc celui de la gestion des circulations ferroviaires à l'intérieur de cet espace de voies géographiquement délimité en choisissant et commandant pour chaque train les itinéraires qui répondent à la planification et aux directives du régulateur.

Un poste d'aiguillage permet à un exploitant unique ou à un nombre réduit d'exploitants, dénommés aiguilleurs, d'effectuer l'ensemble de ces opérations.

Dans l'exploitation ferroviaire, la sécurité des circulations est assurée en service normal par les équipements des postes qui réalisent les enclenchements nécessaires entre les itinéraires incompatibles. L'aiguilleur n'assure des fonctions de sécurité qu'en cas de dérangement de ces installations en mettant alors en oeuvre des procédures adéquates.

1.4 Insertion de SEPIA dans la gestion du trafic

Dans le dispositif de gestion des circulations décrit précédemment, SEPIA se substitue complètement à l'aiguilleur, sauf pour les actions sécuritaires, pour assurer la circulation des trains au niveau d'un poste d'aiguillage. A cette fin, ce logiciel réalise les fonctions suivantes :

- identification des trains à venir,
- détermination du sous-ensemble des itinéraires réellement disponibles ou accessibles pour chaque train. Cette fonctionnalité nécessite la connaissance :
 - . du schéma des voies de la zone d'action du poste,
 - . de la disponibilité réelle des itinéraires, compte-tenu : des travaux planifiés, des indisponibilités suite à avaries, des autres circulations déjà en cours ou annoncées.
- choix d'une suite d'itinéraires possibles satisfaisant par ailleurs aux contraintes générées par :
 - . la réutilisation, de tout ou partie, du matériel roulant pour constituer un autre train (notion d'équilibre de rames). Par exemple, dans une gare terminus, le train qui arrive en fin de mission repartira sous forme d'un ou plusieurs trains. Le choix du point terminus devra permettre aux trains successeurs d'assurer ensuite leurs propres missions.
 - . la satisfaction de critères commerciaux. Par exemple, dans une gare de passage, un train assurant une correspondance devra stationner, si possible, sur une voie à quai desservant le même quai que le train relais pour éviter aux voyageurs des transits inutiles.

- l'exécution des commandes permettant le tracé, au moment opportun, des itinéraires choisis.
- le contrôle de la bonne exécution des commandes.
- le suivi de l'évolution du train.
- l'enregistrement du passage des trains et la transmission de cette information au régulateur.

Ces différentes fonctions sont assurées sous contraintes de respecter les directives du régulateur qui, dans cette première version, sont introduites dans le système via une interface homme/machine.

2. MODELISATION DU PROBLEME

La gestion du trafic sur une zone gérée par un poste d'aiguillage peut s'appréhender de manière simplifiée comme un processus itératif infini composé de deux étapes séquentielles : la planification puis la commande. Planifier consiste à choisir pour chaque train $t_k \in T$, ensemble des trains en cours de circulation ou devant circuler sur la zone, des ressources $r_i \in R$, ensemble des itinéraires du poste, lui permettant d'assurer sa mission commerciale sous la double contrainte : d'une desserte géographique et du respect des horaires. La planification tend donc à maximiser une cohérence globale de l'allocation des ressources entre les différents t_k pour minimiser les retards et maximiser la qualité de la prestation de service offerte à la clientèle. Commander, c'est affecter de manière irréversible, au moment opportun, une ressource r_i à un t_k . Cette ressource sera de nouveau disponible lorsqu'elle aura été franchie par le train t_k .

2.1 Le problème de la planification des trains

Il s'agit d'une planification de dernière instance, effectuée en temps réel. Elle intègre dans ses calculs :

- les choix de la planification préalable,
- les informations les plus récentes sur :
 - . la disponibilité des ressources,
 - . les besoins actualisés des t_k en fonction des horaires observés ou anticipés.

Pour cette classe de problème, le "scheduling", les concepts clés d'une approche IA dont l'article de [Fox 90] fournit une excellente synthèse, sont :

- la définition de l'espace des états du problème :
 - . caractéristique des états,
 - . opérateurs de passage d'un état dans un autre,
 - . fonction d'évaluation d'un état.
- la structuration adaptée de cet espace,
- les techniques de recherche dans cet espace, basées sur :
 - . les heuristiques,
 - . l'opportunisme,
 - . les connaissances de contexte.
- la manière de représenter la connaissance.

Nous allons brièvement présenter l'application de ces principes généraux au problème particulier de la gestion du trafic au niveau d'un poste d'aiguillage.

2.1.1 L'espace des états du problème

A un ensemble d'hypothèses de calcul donné, noté H_m , correspond un ensemble d'états du problème. H_m est en fait une image des connaissances de l'aiguilleur sur le problème :

- les données observées sur la position et l'évolution des trains,
- l'état prévisible de disponibilité des ressources,
- les retards annoncés,
- les trains retenus pour constituer l'ensemble T

Un état du problème est constitué par l'attribution d'un ensemble de ressources r_i permettant à t_k d'accomplir sa mission et respectant le choix des ressources affectées aux autres trains T_j

L'espace des solutions potentielles, constituées par des ensembles d'états compatibles, est particulièrement vaste même lorsque le poste d'aiguillage est de taille modeste. Il est donc exclus de pouvoir l'explorer en temps réel pour retenir la solution optimale. Cela est d'autant moins envisageable que l'espace décrit est conditionné par les hypothèses H_m . Il doit donc être révisé ou produit à nouveau chaque fois que H_m est modifié par :

- la modification des horaires d'un $t_k \in T$,
- un dysfonctionnement du réseau induisant une indisponibilité imprévue de certaines ressources,
- des retards dans l'évolution des trains,
- etc.

Il est à noter que la fonction d'évaluation de l'intérêt de chaque état est du type multicritère puisqu'il s'agit d'optimiser la fluidification du trafic et la qualité du service client. Ces deux objectifs peuvent diverger. Par exemple, il peut être commercialement préférable d'infliger un léger retard à un train afin qu'il arrive sur son quai de stationnement habituel plutôt que de le faire séjourner sur un autre quai. En effet, le choix d'un quai alternatif permettrait de respecter l'horaire mais dérouterait bon nombre de clients.

2.1.2 Structuration de l'espace des états

Le premier moyen disponible pour structurer le graphe des états consiste à déterminer, de manière experte, l'ensemble T des trains à prendre en considération lors d'une phase d'attribution de ressources. Ensuite, comme le graphe des états est produit de manière séquentielle, l'ordre dans lequel seront étudiés les t_k n'est pas indifférent. Un ordonnancement judicieux est à même de réduire sensiblement la taille du sous-ensemble du graphe qui sera réellement exploré. De manière classique, la règle "le plus contraint d'abord" peut être adoptée et enrichie par recours à l'expertise. Enfin, lorsque H_m est modifié et qu'un nouveau graphe est à produire, il est avantageux, du point de vue de l'exploration du graphe, de débiter la recherche à partir de la solution obtenue lors de l'étape similaire précédente. Certes, dans l'absolu, la qualité de la solution résultante sera au mieux égale à celle qui aurait pu être atteinte si l'exploration avait porté sur l'ensemble des possibles, compte-tenu des nouvelles hypothèses. Mais, dans la

mesure où la solution produite est relativement satisfaisante, elle pourra être adoptée. Si tel n'est pas le cas, alors il est nécessaire de procéder à une remise en cause des choix effectués aux étapes précédentes.

2.1.3 Stratégies et heuristiques de recherche de solutions

La recherche d'une solution globale pour un train t_k peut être décomposée en sous-problèmes dont chacune des solutions intermédiaires est constituée par la liste des ressources permettant de relier un sous-but courant au sous-but précédent.

En effet, un train a pour but d'atteindre le point terminus de sa mission. Cet objectif est décomposable en sous-buts (passage, avec ou sans arrêt, dans une gare ou, en un point particuliers du réseau) qu'il faut atteindre de manière séquentielle. Cette décomposition sera déterminée de manière univoque par la mission qu'assure le train. La recherche du chemin, solution de chaque sous-but, basée sur un algorithme, de type branch and bound, sera guidée par l'information disponible :

- ressources prévues lors de la planification préalable,
- ressources à utiliser par défaut,
- etc.

De plus, selon le contexte d'exploitation du poste, normal ou perturbé, et la nature du train : de prestige, voyageur, marchandise, wagons vides, etc., la qualité exigée de la solution à obtenir pourra être plus ou moins bonne. Cette notion de seuil de coût acceptable pour une solution sera déterminé de manière experte. Enfin, s'il est impossible de trouver une solution satisfaisante, les conflits dans l'attribution des ressources seront gérés de manière experte.

2.1.4 Représentation des connaissances

Les connaissances relatives à la recherche d'une solution pour un train t_k ont été isolées dans une tâche indépendante. La structuration du problème de choix de ressources pour ce train est basée sur une liste d'objets, correspondant chacun à un des sous-buts du problème. La tâche train reçoit ou sollicite, auprès du système expert, les directives :

- coût autorisé pour atteindre un sous-but,
- valeurs préférentielles des sous-buts,
- coefficients permettant de normer la fonction d'évaluation multi-critères.

Ces informations lui permettent ensuite de procéder de manière autonome à la recherche d'une solution. La démarche adoptée est assimilable à une planification décentralisée. Chaque train doit maximiser son objectif sous réserve de respecter les directives fournies par le centre, identifié au système expert.

3. ARCHITECTURE ET IMPLEMENTATION DU SYSTEME

L'architecture du logiciel est bâtie sur une approche multi-agents [Minsky 88] [Ferber 88] dans laquelle chaque fonction importante est identifiée à un agent autonome. Cette autonomie est renforcée par l'approche multi-tâches adoptée qui identifie agents et tâches (process VMS) totalement indépendants. Dans ce système, les agents communiquent entre eux par l'intermédiaire de messages strictement définis et

normés. Cette solution renforce la connotation orientée objet du logiciel développé puisque chaque agent est doté de sa propre capacité de calcul, en pseudo parallélisme. Elle permettra par ailleurs de passer sans difficulté à un mode de traitement distribué [Laffey 91] pour faire face, si nécessaire, à un problème de performances.

Ce système, dans sa globalité, a pour ambition de mimer l'activité d'un aiguilleur qui dispose, pour remplir sa tâche, de son intelligence, de sa qualification professionnelle, de son expérience et d'un système d'information constitué par :

- une planification prévisionnelle quotidienne (TST) des circulations de trains indiquant : l'heure de circulation, le numéro du train, les itinéraires de parcours.
- des informations visuelles, affichées sur un tableau de contrôle optique (TCO), indiquant l'état courant du réseau ferroviaire.
- des indications sur la disponibilité prévisible du réseau intégrant notamment les consignations d'installations pour travaux de maintenance.
- des informations orales : téléphoniques avec le régulateur, les agents de gare et d'entretien ou par radio avec les mécaniciens.
- des consignes d'exploitation du poste indiquant les dispositions à prendre pour assurer sa gestion lors d'un dysfonctionnement majeur des installations.

La figure jointe donne le schéma simplifié des agents coopérant dans le système. Ils peuvent être regroupés en six catégories principales que nous allons décrire succinctement.

3.1 Une centrale d'acquisitions et de commandes

Elle permet d'interfacer le système SEPIA aux relais électriques du poste d'aiguillage pour :

- acquérir de l'information sur l'état du réseau ferroviaire, permettant notamment de localiser les trains et de détecter les défauts de fonctionnement du poste. Ces informations sont similaires à celles affichées sur le TCO du poste.
- d'activer les relais de commande des itinéraires.

D'un point de vue matériel, elle est constituée par un ensemble d'automates programmables (API) et d'une liaison série les reliant à la station de travail SEPIA. Pour les postes d'aiguillage de dernière génération, à commande informatisée, ce module sera inutile.

3.2 Les fonctionnalités liées à la représentation du réseau ferroviaire.

La tâche RESEAU contient la représentation détaillée du graphe du réseau ferroviaire :

- itinéraires du poste,
- zones élémentaires constituant chaque itinéraire,
- interdépendance d'utilisation d'itinéraires,
- délimitation des zones prédéfinies de travaux,
- etc.

Sur cette structure sont rattachés :

- des algorithmes de recherche de chemin, sous contraintes temporelles,

- la mémorisation des affectations prévisionnelles de ressources et des consignations travaux,
- l'état courant du réseau ferroviaire, avec inventaire des trains utilisateurs de ressources,
- la détection des dysfonctionnements des installations et l'émission de cette information aux tâches trains directement concernées,
- les mécanismes de passage de commande d'itinéraire,
- la surveillance, sur demande, du changement d'état d'un composant du réseau avec information en retour au demandeur dès que les conditions attendues sont observées (notion de chien de garde).

La tâche SAC (Séquencement et Acquiescement des Commandes) permet :

- la gestion des échéances de commande d'itinéraire à très court terme.
- la surveillance de l'exécution des commandes.

3.3 Les fonctionnalités liées aux trains

Un train doit remplir une mission prédéfinie, caractérisée par :

- la desserte de gares et/ou de points de passage imposés dans le graphe du réseau,
- des horaires théoriques et observés de circulation,
- des contraintes sur la réutilisation, en tout ou partie, des éléments qui le composent,
- le respect de directives de régulation.

Pour chaque train x devant circuler, la tâche GENERATEUR_DE_TRAIN, crée une tâche TRAIN_X. Ce processus de création est déclenché, au moment opportun, sur requête de la tâche DECISION.

Chaque TRAIN_X possède les traitements ou les procédures de requêtes de service auprès des agents spécialisés, lui permettant de remplir sa mission. Pour cela, il doit :

- se faire identifier correctement par le système expert d'identification,
- récupérer l'information disponible le concernant : directives régulateur ou déductions du système expert spécifiques pour ce train, informations TST et MISSION.
- se faire attribuer des ressources : itinéraires, voie à quai, pour remplir sa mission i.e. phase de planification en temps réel,
- commander ensuite et en temps utile l'activation de ces ressources ainsi que les actions associées à leur utilisation,
- suivre son évolution de parcours,
- déclencher, sur demande externe, la procédure de replanification.

3.4 Les fonctionnalités décisionnelles

C'est par la tâche DECISION que sont prises les mesures essentielles conditionnant les traitements réalisés par les tâches TRAIN_x et RESEAU. Elle remplit, à l'aide de systèmes experts spécialisés, les fonctions décisionnelles complexes, normalement dévolues à l'aiguilleur :

- contrôle de l'identité d'un train annoncé,

- détermination de la constitution des groupes de trains devant être planifiés simultanément afin de prendre en compte leur interdépendance lors des calculs : équilibre des rames, correspondances, trains supplémentaires, conflits potentiels liés à une proximité spatio-temporelle de circulations,
- fixation du seuil de gêne acceptable pour procéder à une affectation automatique de ressources,
- gestion des conflits locaux,
- gestion des incidents majeurs avec remise en cause des planifications déjà actées,
- consignation pour travaux,
- gestion des alarmes d'évolution des trains et de dysfonctionnement du réseau.

Les prises de décisions non automatisées ou relevant d'une instance supérieure (régulateur) sont, de manière définitive ou transitoire, introduites par une interface homme/machine :

- modification de l'ordre de succession des trains,
- modification d'horaire,
- ressource imposée pour un train,
- modification d'un équilibre,
- modification de la mission d'un train,
- etc.

3.5 Les données planification

Les tâches TST et MISSION, correspondant respectivement aux résultats de la planification de court et moyen terme, sont des serveurs d'informations sur les ressources prévisionnelles affectables soit à des trains particuliers identifiés par leur numéro soit à des classes de trains accomplissant une mission commerciale identique.

3.6 Les interfaces homme/machine

La tâche IHM sert d'interface homme/machine pour introduire des directives de comportement au système SEPIA. C'est par son intermédiaire que le système informe en retour le responsable du poste sur le fonctionnement du système. La tâche GRAPHIQUE_ES permet de fournir de l'information, sous forme d'un graphique Espace/Temps, sur l'évolution observée et projetée des trains. La tâche GRAPHIQUE_TCO permet de visualiser l'état courant du réseau ferroviaire. Elle produit sur écran le dessin du TCO.

3.7 Synthèse du système SEPIA

De manière imagée et anthropomorphique, les tâches constituant SEPIA sont pour l'essentiel l'expression de ce qu'un aiguilleur pourrait :

- voir sur le TCO : Centrale d'Acquisition/Commande.
- entendre au téléphone : tâche IHM.

- avoir mémorisé : tâche RESEAU.
- calculer : tâches TRAIN_x et RESEAU.
- penser : tâche DECISION.
- actionner : tâche SAC.
- expliquer : tâches IHM, GRAPHIQUE_TCO et GRAPHIQUE_ES.

La figure jointe donne une représentation synthétique du système SEPIA d'un point de vue :

- conceptuel : répartition des différents niveaux de prises de décision : du politique au procédural [Waliser 77].
- de l'architecture du logiciel : découpage en tâches.
- des langages utilisés : OPS5, C++, BASIC.
- du matériel de traitement : VAX 3100, Automates Programmables Industriels (API) ALSPA C100.

4. CONCLUSION

Le recours à des techniques d'intelligence artificielle, pour concevoir et développer ce logiciel, a été motivé par deux types de justifications généralement considérés comme contradictoires :

- l'approche IA, pour résoudre un problème réputé impossible à traiter de manière algorithmique classique,
- l'approche génie logiciel, pour produire de manière économique, un logiciel robuste, transposable et adaptable à des situations concrètes très différentes qui interdisent l'adoption d'une solution basée sur la paramétrisation d'un logiciel standard.

L'aspect IA permet d'intégrer dans le logiciel le pragmatisme et les heuristiques de résolution de problème utilisées par l'homme de l'art. C'est d'ailleurs cette capacité de raisonnement opportuniste qui lui permet de résoudre, en continu, des problèmes que l'on ne peut formaliser par recours à des méthodes analytiques.

L'adoption de certaines techniques d'IA, notamment l'utilisation d'un langage à base de règles de production, nous est apparue comme un excellent moyen de circonscrire, dans un seul module, le code susceptible d'être modifié. Ces mises à jour du code résulteront, soit de la prise en compte de particularités locales dans l'exploitation d'un poste, soit plus généralement de la nécessité d'intégrer de nouvelles stratégies de gestion des circulations. Ces deux cas recouvrent respectivement les besoins d'adaptation du logiciel à des conditions particulières d'exploitation et de maintenance fonctionnelle.

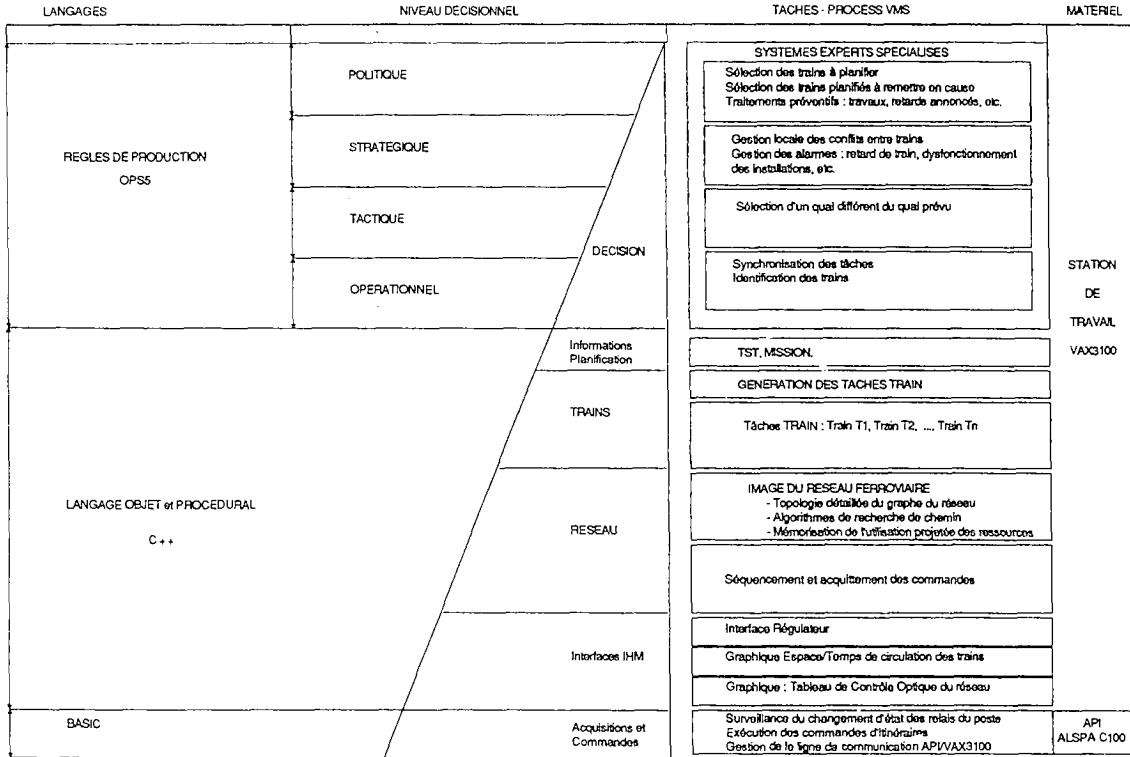
Cette première version du logiciel a permis de vérifier concrètement la validité des options prises pour traiter le problème. Dans la continuité de cet effort, une version industrielle devrait être prochainement développée. Le poste de Paris-Nord (450 itinéraires) qui aura notamment en charge le trafic TGV trans-Manche pourrait être le premier site d'application de cette nouvelle version. D'autres extensions sont par ailleurs envisageables. Bien qu'expérimenté sur un poste d'aiguillage de taille modeste, le système SEPIA a été conçu dès l'origine avec une ambition fonctionnelle plus importante que la "simple" gestion d'un poste d'aiguillage. Il pourrait servir de structure d'accueil pour favoriser la fusion des fonctions de régulateur et d'aiguilleur qui est seule

à même de favoriser une gestion optimale du trafic ferroviaire [Cambillau 79]. SEPIA serait alors chapeauté par un système d'aide à la régulation dont les directives seraient immédiatement relayées et appliquées par un ou des systèmes SEPIA gérant les postes sous contrôle de ce régulateur doté d'une aide informatique intelligente.

REFERENCES

- [Araya 85] ARAYA, S., FUKUMORI, K.. ESTRAC II : an expert system for train traffic control in disturbed situation. Advances in Artificial Intelligences. North-Holland: Elsevier Sciences Publishers. ECCAI 1985. pp 23-32.
- [Cambillau 79] CABBILLAU, G., AUDOIN, J.. Développement des fonctions Aiguillage et Régulation. Note interne du groupe de réflexion automatisation. PARIS: SNCF Direction des études générales et de la recherche Secteur Recherche. 1979.
- [Ferber 88] FERBER, J., GHALLAB, M.. Problématiques des univers multi-agents intelligents. Actes des journées nationales du PRC-IA. Toulouse: 1988. pp 295-320.
- [Fox 90] FOX, M., S.. AI and Expert System Myths, Legends, and Facts. IEEE EXPERT. Vol. 5 N° 1 February 1990. pp 8-20.
- [Laffey 91] LAFFEY, T., J.. The real-time Expert. BYTE. January 1991. 259-264.
- [Lemoigne 90] LEMOIGNE, J.L.. La modélisation des systèmes complexes. Paris: AFCET Systèmes DUNOD. 1990.
- [Minsky 88] MINSKY, M.. La société de l'esprit. Paris: InterEditions. 1988.
- [Moulin 88] MOULIN R., BENTOLILA, J.. GESPI : un système expert de gestion prévisionnelle du trafic dans une grande gare. Actes des 8èmes Journées Internationales Les systèmes experts & leurs applications. Avignon: EC2. 1988. pp ??
- [Rossi 90] ROSSI, C., SISSA, G.. When disruptions don't disrupt. International Railway Journal. March 1990. pp 37-40.
- [Tomii 90] TOMII, N., STOHL, H.. A train traffic simulation system permitting application of knowledge engineering. Quartely Report of RTRI. Vol. 31 N° 2. 1990. pp 66-71.
- [Waliser 77] WALISER, B.. Systèmes et modèles. Paris: SEUIL. 1977.

SYNTHESE de SYSTEME SEPIA



2880

ST11