



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
04.08.1999 Bulletin 1999/31

(51) Int. Cl.⁶: B61L 27/00

(21) Numéro de dépôt: 98403116.1

(22) Date de dépôt: 10.12.1998

(84) Etats contractants désignés:
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE
Etats d'extension désignés:
AL LT LV MK RO SI

(72) Inventeurs:
• Betge Brezetz, Stéphane
75015 Paris (FR)
• Benoliel, Serge
75013 Paris (FR)

(30) Priorité: 26.01.1998 FR 9800767

(74) Mandataire: Feray, Valérie et al
COMPAGNIE FINANCIERE ALCATEL
Dépt. Propriété Industrielle,
30, avenue Kléber
75116 Paris (FR)

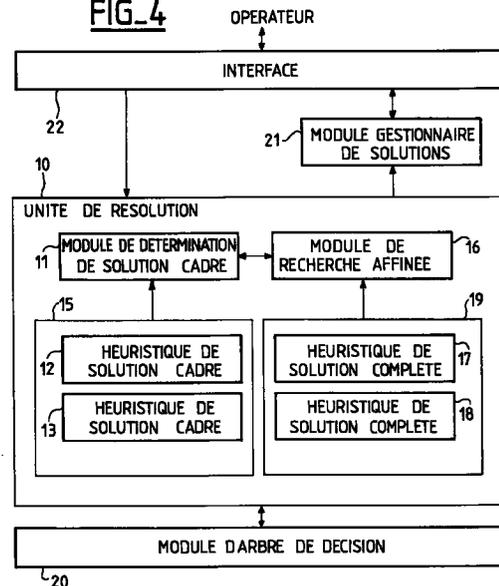
(71) Demandeur: ALCATEL
75008 Paris (FR)

(54) **Procédé de résolution des conflits de table horaire d'un réseau de transport et agencement de traitement correspondant**

(57) Le procédé prévoit notamment les étapes suivantes :

- modélisation du réseau de transport à deux niveaux, l'un fonctionnel où est exprimé un ensemble de contraintes relatives aux flux de véhicules entre les stations et l'autre topologique où est exprimé un ensemble de contraintes relatives à la topologie des lignes, voies et/ou routes, et à leur équipement ;
- application d'un algorithme d'optimisation pour produire un cadre de table corrigée éliminant les conflits d'une table horaire conflictuelle, au niveau fonctionnel ;
- application d'un algorithme d'optimisation prenant comme entrée le cadre de table corrigée et produisant une table non-conflictuelle en tenant compte des contraintes topologiques ;
- mise en application de la table horaire non-conflictuelle obtenue.

FIG_4



L'agencement comporte un module de détermination de cadre de solution (11) et un module de recherche de solution complète (16) associés à un module gestionnaire de solutions (21) et un module d'arbre de décision.

Description

[0001] L'invention concerne un procédé informatique destiné à assurer la résolution, au niveau d'une table horaire, des conflits qui sont susceptibles d'intervenir dans un réseau de transport, en particulier dans un réseau de transport de type ferroviaire.

[0002] Elle concerne aussi un agencement de traitement conçu pour permettre la mise en oeuvre de ce procédé.

[0003] Un tel procédé et un tel agencement sont destinés à être mis en oeuvre dans les réseaux où les successions d'opérations relatives aux transports à réaliser, telles que planifiées dans un environnement donné, avec des moyens matériels donnés et dans un cadre temporel donné, sont plus particulièrement synthétisées sous la forme de tables horaires. Ils sont notamment prévus pour pouvoir être exploités avec différentes configurations de réseau et pour permettre la mise en oeuvre d'heuristiques différentes.

[0004] Les procédés et agencements connus ont généralement été conçus au cas par cas pour des réseaux déterminés, en tenant compte des particularités propres à ces réseaux ce qui les rend peu transportables du réseau pour lequel ils ont été conçus à un réseau différent.

[0005] Certains de ces procédés connus exploitent par exemple une approche de type arbre de décision et prennent en compte une fonction de coût, correspondant par exemple à une somme pondérée de retards, d'autres prennent en compte un ensemble de règles, par exemple dans le cadre d'un système expert, ou d'une heuristique spécifique de remise en ordre.

[0006] De plus ils exploitent souvent une représentation linéaire des réseaux fondée sur les infrastructures réelles des réseaux pris en compte. Ceci peut conduire à l'apparition de problèmes de convergence dans le cas d'événements graves conduisant à une exigence de traitements d'un nombre élevé de conflits de manière pratiquement simultanée.

[0007] Il existe aussi des procédés exploitant une approche de type programme de satisfaction de contraintes qui sont utilisés pour modifier les horaires des trains dans le cas de réseaux de transport ferroviaire. Toutefois ces procédés ne sont pas pleinement satisfaisants en matière de résolution des conflits de tables horaires dans la mesure où ils ne sont pas prévus pour assurer des changements d'itinéraires en plus des changements d'horaires en cas de conflits. Leur adaptation en vue d'offrir ces possibilités de changement d'itinéraire conduit à l'utilisation de temps prohibitifs de traitement des données.

[0008] L'invention propose donc un procédé de résolution informatique, au niveau d'une table horaire, des conflits d'un réseau de transport, notamment de type ferroviaire, qui est géré par l'intermédiaire d'un ensemble informatique et qui comporte des lignes, voies et/ou routes, reliant des stations entre lesquelles circulent

des véhicules dont les déplacements sont organisés selon une table de données, constituant la table horaire. Celle-ci est stockée au niveau d'un système de traitement de données et où sont répertoriés les différents déplacements de véhicules prévus entre les stations pour une période de temps déterminée, avec des informations caractéristiques de ces déplacements, tels que les différents trajets possibles entre les stations et les temps de passage prévus au niveau des stations.

[0009] Selon une caractéristique de l'invention, le procédé prévoit la réalisation des étapes suivantes par le système de traitement de données :

- modélisation du réseau de transport selon une hiérarchie à deux niveaux ;

un niveau, dit fonctionnel, où est exprimé un ensemble de contraintes qui sont relatives aux flux de véhicules entre les stations du réseau ;
un niveau, hiérarchiquement inférieur et dit topologique, où est exprimé un ensemble de contraintes relatives à la topologie des lignes, voies et/ou routes, et à leur équipement ;

- déclenchement automatique d'une recherche de solution, en cas de réception par le système de traitement de données d'une information, susceptible de conduire à une modification de table horaire, en provenance de l'ensemble informatique de gestion du réseau et/ou d'un exploitant accrédité ;

- application d'un algorithme d'optimisation à la table horaire afin de produire un cadre de table horaire corrigée éliminant les conflits correspondant aux contraintes du niveau fonctionnel ;

- application d'un second algorithme d'optimisation prenant comme entrée le cadre de table horaire corrigée et produisant une table horaire non-conflictuelle tenant compte des contraintes du niveau topologique ;

- mise en application de la table horaire non-conflictuelle obtenue en tenant compte des contraintes du niveau fonctionnel et du niveau topologique, lorsque les contraintes sont respectées.

[0010] Selon une autre caractéristique de l'invention, des tolérances, notamment temporelles, sont associées au cadre de table horaire corrigée et sont prises en compte lors de l'établissement d'une table horaire non-conflictuelle à partir de ce cadre de table horaire corrigée.

[0011] Selon une autre caractéristique de l'invention, le procédé prévoit de plus au moins une étape d'application d'algorithme d'optimisation, éventuellement réitérée, avec des critères d'optimisation différents pour produire au moins une autre table horaire non-conflictuelle à partir d'une table horaire déterminée, via un cadre de table horaire corrigée, et éventuellement pour produire au moins un autre cadre de table corrigée à

partir de cette table horaire déterminée.

[0012] Selon une autre caractéristique de l'invention, le procédé prévoit que la mise en application de la table horaire non-conflictuelle obtenue est au moins partiellement réalisée par action de l'ensemble de traitement de données, où est mis en oeuvre le procédé, au niveau de l'ensemble informatique par l'intermédiaire duquel le réseau de transport est géré.

[0013] Selon une autre caractéristique de l'invention, les diverses étapes, réalisées selon un arbre de décision et avec intervention éventuelle d'un exploitant, sont mémorisées par l'intermédiaire de chacun des jeux de commande respectivement exploités pour le passage d'une table horaire non-conflictuelle à une autre table horaire non-conflictuelle dans une éventuelle chaîne de cadres de table corrigées et de tables horaires non-conflictuelles établis à partir d'une situation de départ conflictuelle mémorisée de manière spécifique, afin de permettre un parcours dans les deux sens de l'arbre de décision et une ré-identification de la situation de départ.

[0014] L'invention propose aussi un agencement de traitement des conflits de table horaire dans un réseau par mise en application du procédé évoqué ci-dessus, dans le cadre d'un système de traitement de données associé ou éventuellement inclus dans un ensemble informatique de gestion du réseau.

[0015] Selon une caractéristique de l'invention, cet agencement comporte :

- une unité de résolution comportant au moins un module de détermination de solution pour procéder à des recherches de cadre de table horaire corrigée selon une heuristique de recherche choisie par application d'un algorithme d'optimisation à un modèle de réseau réalisé à un niveau hiérarchique dit fonctionnel en vue de fournir un cadre de table horaire corrigée à partir d'une table horaire conflictuelle et un module de recherche de solution complète qui procède à des recherches de table horaire non-conflictuelle selon une heuristique de raffinement choisie par application d'un algorithme d'optimisation à un modèle de réseau réalisé à un niveau, dit topologique hiérarchiquement inférieur au précédent, à partir d'un cadre de table horaire corrigée fourni par le module de détermination en vue d'obtenir une table horaire non-conflictuelle, optimisée, respectant les contraintes de niveau fonctionnel et topologique et les tolérances associées au cadre de table horaire corrigée dont elle découle;
- un module d'arbre de décision permettant aux modules de détermination et de recherche de solutions de l'unité de résolution d'exploiter un même algorithme d'exploration des solutions avec des stratégies différentes selon les heuristiques exploitées;
- un module gestionnaire de solutions exploité pour

un stockage des solutions obtenues aux différentes étapes d'obtention d'une table horaire non-conflictuelle optimale à partir d'une situation conflictuelle relative à une table horaire déterminée et pour une restitution des solutions en fonction des besoins de l'unité de résolution et de l'exploitant;

- une interface de communication avec l'ensemble informatique de gestion du réseau de transport et avec le personnel exploitant.

[0016] L'invention, ses caractéristiques et ses avantages sont précisés dans la description qui suit en liaison avec les figures évoquées ci-dessous.

La figure 1 est une représentation schématique relative à un exemple simple de table horaire pour une ligne ferroviaire schématisée en figure 2.

La figure 2 est une représentation schématique d'une ligne ferroviaire.

La figure 3 présente un schéma de définition d'un exemple de cadre de solution.

La figure 4 présente un schéma synoptique d'un agencement de traitement pour la mise en oeuvre du procédé de résolution selon l'invention.

La figure 5 présente un schéma de principe relatif au fonctionnement de l'unité de résolution d'un agencement de traitement selon l'invention.

[0017] La représentation schématique illustrée en figure 1 est relative à une petite partie de table horaire relative à une portion de ligne ferroviaire L supposée relier trois stations 1, 2 et 3 par une voie unique comme illustré sur la figure 2, la voie L se divisant en deux au niveau de chaque station où deux quais sont ménagés, tels A1 et B1 pour la station 1, A2 et B2 pour la station 2, A3 et B3 pour la station 3. Les divisions de voie réalisées dans chaque station permettent à deux trains de se croiser ou de se dépasser, lorsque l'un des trains est à l'arrêt dans cette station.

[0018] La situation illustrée en figure 1 est supposée impliquer trois trains T1, T2, T3 simultanément présents sur la ligne ferroviaire L au cours d'un même laps de temps. Selon une table horaire prévue pour ces trains, le train T1 est supposé venir s'immobiliser au long d'un quai, par exemple A1 de la station 1, à un instant t1 et jusqu'à un instant t3 à partir duquel il s'engage sur la voie pour un parcours sans arrêt jusqu'à la station 3, via la station 2.

[0019] Le train T3 est supposé venir s'immobiliser à la station 3, à un instant t2, jusqu'à un instant t5 à partir duquel il s'engage sur la voie pour un parcours sans arrêt vers la station 2. Il est prévu par la table horaire qu'il arrive à la station 2 à un instant t6, par exemple au long du quai A2, avant que le train T1 circulant en sens inverse ne passe au long du quai B2. Le train T2 est supposé venir s'immobiliser au long d'un des quais de la station 1, par exemple le quai B1, à un instant t7 jusqu'à un instant t8 à partir duquel il s'engage lui aussi

pour un parcours sans arrêt jusqu'à la station 3. La table prévoit que le train T2 passe par la station 2, pendant le laps de temps au cours duquel le train T3 est immobilisé dans cette station. Le train T2 passe alors au long du quai B2 si, comme prévu plus haut, le train T3 est immobilisé au long du quai A2. Il est prévu par la table que le train T3 reparte vers la station 1 à un instant t9, que le train T1 arrive à la station 3 à un instant t10 pour s'immobiliser au long d'un quai, par exemple le quai A3, et que le train T2 arrive à la station 3 à un instant t11.

[0020] Il est ici envisagé un retard du train T1 au départ de la station 1, par exemple jusqu'à un instant t4, compris entre t3 et t5, sur le diagramme de type espace/temps de la figure 1 où ledit retard est symbolisé en trait épais. Ce retard conduit à une situation conflictuelle dans la mesure où le train T2 plus rapide que le train T1 va rattraper ce dernier entre les stations 2 et 3, comme le montre le croisement du tracé en pointillé correspondant au train T1 retardé avec le tracé en trait continu correspondant au train T2. Ce dernier ne sera plus susceptible d'arriver à la station 3 à l'instant t11 initialement prévu pour lui par la table.

[0021] Bien entendu, le procédé de résolution ne s'applique pas qu'aux conflits simples tels que celui évoqué ci-dessus. Il est plus particulièrement prévu pour intervenir dans le cadre de réseaux et notamment de réseaux maillés, où sont susceptibles de développer des situations conflictuelles impliquant un nombre de paramètres et/ou une interaction de ces paramètres qui interdisent pratiquement l'emploi d'une procédure de résolution autre qu'informatique. Il est prévu que le procédé selon l'invention est mis en oeuvre par l'intermédiaire d'un agencement prévu au niveau d'un système de traitement de données associé ou éventuellement inclus dans l'ensemble informatique au moyen duquel le réseau de transport est géré par le personnel chargé d'en assurer notamment le fonctionnement et la gestion. Les structures exactes du système de traitement de données et de l'ensemble informatique de gestion du réseau ne sont pas développées ici, dans la mesure où elles n'ont qu'un rapport indirect avec l'objet de l'invention. Comme il est connu ce système et cet ensemble sont classiquement constitués au moyen d'unités logiques programmées, organisées autour de processeurs, de mémoires et d'interfaces diverses permettant aux unités de communiquer d'une part entre elles et d'autre part avec au moins certains des équipements du réseau de transport et au moins une partie du personnel d'exploitation du réseau, via des interfaces de type homme-machine pour ce personnel. Ces communications peuvent prendre des formes très diverses et sont notamment utilisées à des fins de commande d'équipement, de transmission de compte-rendu d'activités, d'échange d'informations entre unités et/ou entre unités et personnel exploitant.

[0022] Le procédé de résolution informatique selon l'invention implique une représentation, sous forme hiérarchisée, du réseau de transport auquel il est destiné à

être appliqué. Cette représentation est ici supposée stockée au niveau du système de traitement de données où le procédé de résolution est mis en oeuvre.

[0023] Le réseau est supposé comporter une pluralité de lignes, voies et/ou routes, qui relient des stations entre lesquelles circulent des véhicules, ceux-ci peuvent être des avions ou des bateaux dans le cas de réseaux aériens ou maritimes, dans l'exemple de réseau ferroviaire envisagé ici ces véhicules sont constitués par des trains ou des éléments de train, telles que notamment les motrices lorsqu'elles circulent isolément. Les déplacements des véhicules sont organisés selon une table horaire, ici supposée stockée sous la forme d'une table de données au niveau du centre de traitement de données.

[0024] Il est prévu un procédé informatique visant à assurer une résolution automatique des conflits susceptibles de survenir dans un réseau, ces conflits étant représentés au niveau d'une table horaire où sont répertoriés les différents déplacements de véhicules qui sont prévus entre les stations d'un réseau pour une période de temps déterminée. Cette table horaire contient des informations caractéristiques relatives aux déplacements, tels que par exemple les trajets entre les stations et les temps de passage prévus au niveau des stations. Au moins certaines des données stockées dans la table horaire et donc par le système de traitement de données peuvent notamment être introduites au niveau de ce système par le personnel exploitant. Elles sont également susceptibles de parvenir d'unités, notamment dotées d'interface équipement-machine et/ou homme-machine, de l'ensemble informatique de gestion du réseau.

[0025] Il est prévu de réaliser une modélisation du réseau de transport, à deux niveaux hiérarchiquement différents, préalablement à toute tentative de résolution de conflit.

[0026] Un premier niveau de modélisation, dit fonctionnel, est exploité pour exprimer un ensemble de contraintes de gestion de trafic au niveau du réseau ou plus précisément de son infrastructure. Celle-ci est représentée par les stations et par les lignes ou trajets reliant ces stations. Dans le cas d'un réseau ferroviaire on désigne par places les stations et les dépôts de matériel roulant et par inter-places les éléments de réseau qui sont prévus entre les places. Les mouvements des véhicules sont définis en tant que missions. Une mission pour un véhicule comporte des informations précisant les places où il passe et les horaires d'arrivée, de départ et de passage pour chaque place passée.

[0027] Les contraintes de gestion de trafic qui sont prises en compte, sont ici supposées relatives aux flux de véhicules entre stations, étant entendu que chaque station ne peut accepter qu'un flux maximal déterminé de véhicules entrants et/ou sortants par une portion de ligne la reliant directement à une autre station.

[0028] Un second niveau de modélisation, dit topologique et hiérarchiquement inférieur au premier, est

prévu pour exprimer un ensemble de contraintes relatives à la topologie des lignes et à leur équipement, tels que par exemple le nombre et la disposition des voies de passage comportées par une ligne, l'équipement en feux ou autres dispositifs de signalisation de cette ligne.

[0029] Dans le cas d'un réseau ferroviaire tel que défini ci-dessus, les contraintes prises en compte au second niveau concernent aussi les quais et voies de service, ainsi que les trajets ou successions de portions de trajet que les véhicules sont susceptibles d'emprunter. Chaque mouvement de véhicule est défini par un chemin, c'est-à-dire par la succession de trajets ou portions de trajet, qu'il va emprunter et par les horaires d'arrivée, de départ et/ou de passage au différentes places de passage au long du chemin à parcourir pour un trajet donné.

[0030] Selon l'invention, la recherche d'une solution à un conflit de table horaire est déclenchée en cas de non respect des contraintes définies au niveau du réseau de transport, modélisé à deux niveaux selon les indications données ci-dessus.

[0031] Ce déclenchement s'effectue suite à la réception d'informations induisant des demandes de modification de table horaire, en provenance de l'ensemble informatique de gestion du réseau et/ou du personnel exploitant. Selon une forme préférée de réalisation, une application au réseau modélisé de la table horaire, où sont prises en compte ces demandes, est alors automatiquement lancée et elle déclenche une recherche de solution en cas de non-respect, par la table horaire appliquée, de contraintes définies au niveau du réseau modélisé.

[0032] La recherche de solution selon l'invention comporte essentiellement deux étapes, réitérées si besoin est, pour arriver à une solution optimisée, c'est-à-dire à une table non-conflictuelle, voire à une solution optimale choisie parmi plusieurs tables non-conflictuelles possibles.

[0033] La première étape de recherche de solution implique la mise en oeuvre d'un premier algorithme d'optimisation pour modifier la table horaire considérée comme conflictuelle. Ce premier algorithme a pour objet de produire une ébauche de solution, dite cadre de table horaire corrigée, qui soit en correspondance avec les contraintes de niveau fonctionnel définies pour le réseau de transport. Cette étape de recherche est effectuée sur la base d'une première heuristique. Dans une forme préférée de réalisation, la recherche vise à permettre de passer de la situation conflictuelle, constatée au niveau d'une partie de table horaire, à au moins un premier cadre de table horaire corrigée, pour lequel sont définies des tolérances à l'intérieur desquelles au moins une solution complète est recherchée.

[0034] Ces tolérances sont notamment des tolérances en matière de temps de passage ou de stationnement et/ou de distance entre véhicules sur une même voie.

[0035] Si cette première étape de recherche est infructueuse, une nouvelle étape de recherche est auto-

matiquement répétée, à l'aide d'un autre algorithme d'optimisation correspondant à une heuristique de recherche différente, pour tenter de trouver un premier cadre de table horaire corrigée.

[0036] Lorsqu'un tel cadre de table est obtenu, le système de traitement de données déclenche automatiquement une étape de recherche en vue d'obtenir une solution complète, correspondant à une table horaire non-conflictuelle, à partir du cadre de table horaire corrigée qui a été trouvé. Cette étape s'effectue par application d'un second algorithme d'optimisation prenant comme entrée le cadre de table horaire corrigée et tenant compte des contraintes propres au réseau modélisé qui sont relatives à la topologie des lignes et à leur équipement.

[0037] Dans la réalisation envisagée, l'ensemble des données correspondant à une solution est supposé résumé par un cadre de solution corrigée 4, tel que schématisé sur la figure 3. Ce cadre regroupe une table de temps hiérarchisée 5 où sont rassemblés :

- un sous-ensemble 6 de données relatives à un cadre de solution corrigé obtenu en respectant les contraintes définies pour le réseau modélisé au niveau fonctionnel;
- une table de tolérances 8 regroupant les données relatives aux tolérances admises pour le cadre de solution corrigée défini;
- un sous-ensemble 7 de données, dites de second niveau, qui sont relatives à une table horaire non-conflictuelle obtenue à partir du cadre de solution corrigée, en tenant compte des contraintes définies pour le réseau modélisé au niveau topologique.

[0038] Les données prises en compte au niveau d'un sous-ensemble 6 correspondent notamment aux heures de départ et d'arrivée pour les véhicules concernés sur la portion de trajet concernée, ainsi que les connexions prévues, par exemple les correspondances prévues au profit des passagers et les éventuels couplages entre véhicules au niveau des places.

[0039] Les données prises en compte au niveau d'un sous-ensemble 7 correspondent notamment aux données de définition de mission et aux éventuelles restrictions susceptibles d'intervenir pour une mission. Les données de définition de mission comprennent par exemple les heures de départ, de passage et d'arrivée ainsi que les vitesses prévues pour un véhicule donné sur un trajet donné. Les restrictions correspondent par exemple aux éventuelles limitations de vitesse liées aux travaux effectués au long d'un trajet.

[0040] La recherche s'effectue donc pas à pas et peut, suivant les cas, permettre de définir soit un cadre de solution corrigée, soit éventuellement plusieurs, lorsque ceci est envisageable notamment en matière de temps de traitement.

[0041] La répétition des étapes de recherche en vue d'obtenir une table horaire non-conflictuelle optimale est

susceptible d'être réalisée soit à partir d'un même cadre de solution corrigée, soit à partir de cadres de solution corrigée différents.

[0042] Dans ce dernier cas, la première étape d'application d'algorithme d'optimisation, tenant compte des contraintes définies au niveau fonctionnel du réseau, est répétée. Ceci permet une sélection d'une table horaire non-conflictuelle, considérée comme optimale, parmi plusieurs tables possibles respectivement obtenues à partir de cadres de solution corrigée concurrents.

[0043] Ces répétitions qui sont susceptibles d'être réalisées, tant pour la première étape en vue de trouver des cadres de table horaire corrigée différents que pour la seconde étape en vue de trouver des tables horaires non-conflictuelles différentes. Elles sont réalisées en mettant en oeuvre des algorithmes d'optimisation différents, prévus de manière connue par l'homme de métier en ce domaine, pour permettre à l'exploitant de sélectionner la solution optimisée à appliquer en fonction de critères différents, par exemple en fonction de critères de coût, de temps, de régularité, etc.

[0044] Dans une forme préférée de réalisation, le procédé de résolution selon l'invention est mis en oeuvre dans le cadre d'un arbre de décision. Le stockage des informations qui définissent la chaîne de solutions conduisant de la table horaire où est constatée une situation conflictuelle à la solution non-conflictuelle, complète et finalement retenue, est effectué de manière spécifique au niveau du système de traitement de données. Il est prévu une mise en mémoire spécifique des données, relatives à la partie de table horaire où un conflit est constaté, de manière à pouvoir retrouver les conditions conflictuelles qui sont généralement transitoires. Il est aussi prévu une mémorisation du jeu de commandes correspondant aux solutions obtenues au cours des différentes étapes de mise en oeuvre du procédé, à la fin desquelles une table horaire non-conflictuelle est retenue. Ceci permet à l'exploitant de parcourir l'arbre de décision correspondant dans les deux sens, en particulier pour revenir à une solution intermédiaire, à partir d'une solution qui lui est postérieure, en phase de recherche, par une inversion du jeu de commandes ayant conduit de l'une à l'autre. Une réduction notable du volume de données à stocker est ainsi obtenue, puisque seul est nécessaire le stockage des données relatives aux commandes effectuées, à partir d'une partie de table horaire conflictuelle spécifiquement mémorisée, pour parvenir à une solution optimale correspondant à une partie de table horaire équivalente, non-conflictuelle.

[0045] A titre d'exemple, il est supposé ici que la portion de ligne ferroviaire L desservant les stations 1, 2, 3 est une ligne à deux voies normalement exploitées chacune dans un sens différent, qui permettent donc un flux maximal de véhicules déterminé. Si par suite d'un incident, l'une des voies n'est plus disponible entre les stations 1 et 2 et que l'autre voie doit être utilisée pour

assurer l'ensemble du trafic dans les deux sens, il n'est plus possible d'obtenir le même niveau de flux maximal entre ces stations et le trafic de véhicules entre stations 2 et 3 risque d'en être affecté. Le système de traitement de données est informé d'un tel incident, soit par une unité de l'ensemble informatique de gestion du réseau de transport qui est chargée de superviser un des équipements de voie affecté par l'incident et par exemple l'équipement en panne, soit encore par un membre du personnel exploitant du réseau qui est informé de cet incident.

[0046] L'information reçue est ici prise en compte par le système de traitement de données dans la mesure où elle risque d'affecter le trafic des véhicules au niveau du réseau pour les véhicules qui transitent par la portion de ligne L.

[0047] Un déclenchement d'une recherche de solution, par l'intermédiaire de l'agencement de résolution de conflits, est alors automatiquement lancé par le système de traitement de données dûment programmé. Ceci doit permettre d'établir un cadre de table horaire corrigée qui définira par exemple le nombre de trains dans chaque sens qu'il est possible de faire subsister sur la portion de ligne L en utilisant celle des deux voies qui est restée exploitable. Des tolérances temporelles sont ici supposées associées au cadre de table horaire corrigée pour fixer les limites de passage des véhicules en alternance au cours de la période pendant laquelle il est estimé que l'indisponibilité d'une des voies de la portion de liaison L va subsister.

[0048] A partir du moment où un cadre de solution a été trouvé, une recherche de solution complète peut être initiée en vue d'obtenir une table non conflictuelle, adaptée aux nouvelles conditions entraînées par l'indisponibilité de l'une des voies de la portion de ligne L, en tenant compte des contraintes liées à la topologie du réseau. Une telle table va a priori contenir des modifications d'horaire de trains et éventuellement des changements de trajet. Lorsque la table non-conflictuelle à appliquer a été déterminée dans le cadre de temps imparti pour l'obtention de cette table, le système de traitement de données envoie les informations nécessaires à la mise en application de cette table par les équipements, notamment de voie, qui sont concernés. A cet effet, ces informations sont envoyées aux unités de l'ensemble informatique de gestion qui contrôlent les équipements concernés et au personnel exploitant concerné. Au moins certaines des informations sont susceptibles d'être prises en compte par ce personnel pour information, supervision et/ou exécution.

[0049] Dans une forme préférée de réalisation, le procédé est mis en oeuvre dans le cadre d'un agencement de traitement de conflits de table horaire qui est prévu dans qui est schématisé sur la figure 4. Comme déjà indiqué cet agencement est supposé réalisé au niveau d'un système de traitement de données associé ou inclus dans l'ensemble informatique de gestion du réseau de transport considéré.

[0050] Cet agencement, de type logiciel, comporte essentiellement une unité de résolution 10 incluant un module de détermination de solution 11, destiné à procéder aux recherches de cadre de solution, c'est-à-dire de table horaire corrigée, par application d'un premier algorithme d'optimisation au modèle de réseau réalisé au niveau fonctionnel. Ce module de détermination 11 est ici prévu pour pouvoir être exploité avec différentes heuristiques de recherche de cadre de solution corrigée, ici supposées regroupées dans un sous-ensemble heuristique 15 où deux de ces heuristiques sont schématisées avec les références 12 et 13. Ces heuristiques sont ici prévues pour pouvoir être exploitées au cours d'étapes de détermination réalisées dans le cadre d'une même opération de résolution pour offrir différentes possibilités de sélection de solution. Le module de détermination est ici supposé disposer de possibilités de création et d'élimination qui lui permettent respectivement d'engendrer de nouveaux déplacements pour des véhicules ainsi que d'en supprimer. Il est aussi prévu qu'il dispose de possibilités de création, modification et/ou suppression de contraintes modifiables. Il permet d'assurer les modifications les plus importantes, telles qu'indiquées ci-dessus, en utilisant la stratégie et au moins l'une des heuristiques prévues pour lui, et ceci usuellement sous la supervision d'un exploitant accrédité. Il reçoit en entrée les données relatives à une partie de table horaire conflictuelle et doit fournir un cadre de solution corrigée correspondant à une partie de table horaire modifiée, accompagnée de tolérances.

[0051] L'unité de résolution 10 comporte aussi un module de recherche affinée 16 apte à fournir au moins une table horaire non-conflictuelle correspondant à une solution complète à partir d'un cadre de solution corrigée élaboré par le module de détermination 11. Ce module de recherche affinée 16 est chargé d'assurer l'application d'un algorithme d'optimisation au modèle de réseau réalisé au niveau topologique. Il est aussi prévu pour pouvoir être exploité avec différentes heuristiques de recherche de table horaire non-conflictuelle qui sont schématisées avec les références 17 et 18 dans un sous-ensemble référencé 19 de la figure 4.

[0052] Le module de recherche 16 est ici supposé disposer de possibilités de modification d'horaire et de contraintes modifiables, notamment pour permettre un respect des tolérances imposées par le module de détermination pour un cadre de solution déterminé. Il reçoit en entrée un cadre de solution corrigée à partir duquel il fournit au moins une solution pour la partie de table horaire précédemment conflictuelle après avoir éventuellement effectué des modifications telles qu'indiquées ci-dessus en utilisant la stratégie et au moins l'une des heuristiques prévues pour lui.

[0053] Les modules de détermination 11 et de recherche affinée 16 de l'unité de résolution 10 communiquent entre eux, comme schématisé sur la figure 4 et avec un module d'arbre de décision 20. Cet arbre leur permet d'exploiter un même algorithme d'exploration des solu-

tions avec les différentes heuristiques que ces deux modules sont susceptibles d'accepter. Le module d'arbre de décision 20 assure les traitements relatifs à la structure d'arbre et fournit ce dernier, à partir des noeuds et branchements stockés en ligne avec le déroulement des étapes du procédé de résolution de conflit selon l'invention.

[0054] Un module gestionnaire de solutions 21 est associé à l'unité de résolution 10 pour mémoriser les solutions de table horaire que fournit cette unité de résolution au cours d'une étape de recherche déclenchée à partir d'une table horaire conflictuelle et pour permettre à l'ensemble informatique de gestion du réseau et au personnel exploitant accrédité de communiquer avec l'agencement de traitement par l'intermédiaire d'une interface 22.

[0055] Ceci permet notamment à l'ensemble de gestion du réseau de transport et plus particulièrement à un exploitant accrédité d'être informé sur le déroulement des étapes de recherche et d'agir éventuellement sur l'agencement. Ces actions se traduisent, par exemple par une sélection d'heuristique à mettre en oeuvre et par le choix d'une solution optimale parmi plusieurs solutions non-conflictuelles optimisées, lorsque les conditions notamment en matière de délai rendent ceci possible.

[0056] Le principe de fonctionnement de l'unité de résolution de l'agencement de traitement de conflits selon l'invention est schématisé sur la figure 5. Cet agencement est mis en oeuvre à partir d'une situation conflictuelle affectant une table horaire du réseau de transport pour lequel il est mis en oeuvre. La perturbation P de table horaire qui amène à une situation conflictuelle est transmise au module de détermination 11 chargé d'établir les cadres de solution corrigée en ligne avec un mécanisme de détection de conflit au niveau fonctionnel, dont les informations sont symbolisées par la lettre F, et avec un mécanisme d'évaluation de cadre de solution corrigée, dont les informations sont symbolisées par la lettre E. Ceci s'effectue en fonction des paramètres de commande référencés C et des demandes référencées R provenant de l'ensemble informatique de gestion du réseau et/ou d'un exploitant accrédité, via l'interface 22 non représentée sur cette figure 5.

[0057] Chaque cadre de solution produit est transmis par le module de détermination 11 au module de recherche affinée 16 en vue d'obtenir une solution complète et non-conflictuelle avec l'assistance d'un mécanisme de détection de conflits d'occupation des lignes et voies de service, dont les informations sont symbolisées par la lettre O, et d'un mécanisme d'évaluation de solution complète, dont les informations sont symbolisées par la lettre V.

[0058] Le module de recherche affinée 16 est susceptible de réagir en boucle sur le module de détermination 11, lorsqu'une solution complète satisfaisante n'est pas trouvée, de manière à permettre une nouvelle étape

dans le cadre d'une opération de résolution de conflit de table horaire, en vue d'obtenir un cadre de solution différent de celui qui n'a pas permis d'aboutir. Ce module fournit les informations relatives aux solutions complètes trouvées, via l'interface 22, à des fins d'information et de contrôle par un exploitant accrédité et pour application aux moyens, non représentés, qui sont chargés de l'application de la solution non-conflictuelle au niveau des équipements concernés du réseau, via l'ensemble informatique de gestion de ce réseau.

[0059] La mise en oeuvre automatique du procédé selon l'invention, comme préférablement prévu, permet d'arriver rapidement à une solution dans des conditions de temps réel.

Revendications

1. Procédé de résolution informatique, au niveau d'une table horaire, des conflits intervenant dans un réseau de transport, notamment de type ferroviaire, géré par l'intermédiaire d'un ensemble informatique et comportant des lignes, voies et/ou routes, reliant des stations entre lesquelles circulent des véhicules dont les déplacements sont organisés selon une table de données, constituant la table horaire, qui est stockée au niveau d'un système de traitement de données et où sont répertoriés les différents déplacements de véhicules prévus entre les stations pour une période de temps déterminée, avec des informations caractéristiques de ces déplacements, tels que les différents trajets possibles entre les stations et les temps de passage prévus au niveau des stations, ledit procédé étant caractérisé en ce qu'il prévoit la réalisation des étapes suivantes par le système de traitement de données :

- modélisation du réseau de transport selon une hiérarchie à deux niveaux ;
 - un niveau, dit fonctionnel, où est exprimé un ensemble de contraintes qui sont relatives aux flux de véhicules entre les stations du réseau ;
 - un niveau, hiérarchiquement inférieur et dit topologique, où est exprimé un ensemble de contraintes relatives à la topologie des lignes, voies et/ou routes, et à leur équipement ;
- déclenchement automatique d'une recherche de solution, en cas de réception par le système de traitement de données d'une information, susceptible de conduire à une modification de table horaire, en provenance de l'ensemble informatique de gestion du réseau et/ou d'un exploitant accrédité;
- application d'un algorithme d'optimisation à la

table horaire afin de produire un cadre de table horaire corrigée éliminant les conflits correspondant aux contraintes du niveau fonctionnel ;

- application d'un second algorithme d'optimisation prenant comme entrée le cadre de table horaire corrigée et produisant une table horaire non-conflictuelle tenant compte des contraintes du niveau topologique ;
- mise en application de la table horaire non-conflictuelle obtenue en tenant compte des contraintes du niveau fonctionnel et du niveau topologique, lorsque les contraintes sont respectées.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel des tolérances, notamment temporelles, sont associées au cadre de table horaire corrigée et sont prises en compte lors de l'établissement d'une table horaire non-conflictuelle à partir de ce cadre de table horaire corrigée.

3. Procédé selon l'une des revendications 1, 2, dans lequel est prévu au moins une application d'algorithme d'optimisation avec des critères d'optimisation différents pour produire au moins une table horaire non-conflictuelle à partir d'une table horaire déterminée, via un cadre de table horaire corrigée, et éventuellement pour produire au moins un autre cadre de table horaire corrigée à partir de cette table horaire déterminée.

4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel la mise en application de la table horaire non-conflictuelle obtenue est au moins partiellement réalisée par action de l'ensemble de traitement de données, où est mis en oeuvre le procédé, au niveau de l'ensemble informatique par l'intermédiaire duquel le réseau de transport est géré.

5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel les diverses étapes, réalisées selon un arbre de décision et avec intervention éventuelle d'un exploitant, sont mémorisées par l'intermédiaire de chacun des jeux de commande respectivement exploités pour le passage d'une table horaire non-conflictuelle à une autre table horaire non-conflictuelle dans une éventuelle chaîne de cadres de table corrigées et de tables horaires non-conflictuelles établis à partir d'une situation de départ conflictuelle mémorisée de manière spécifique, afin de permettre un parcours dans les deux sens de l'arbre de décision et une ré-identification de la situation de départ.

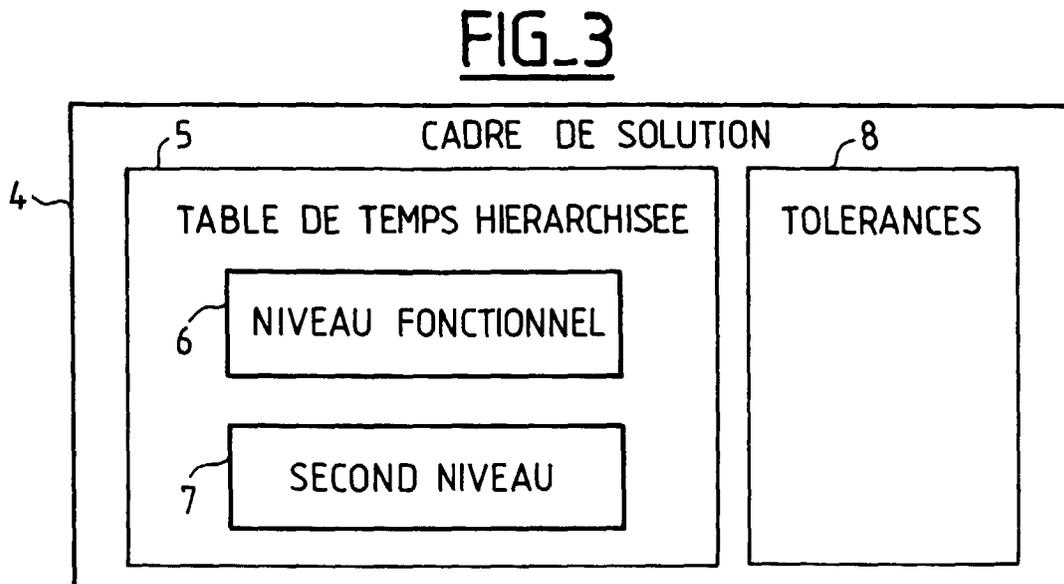
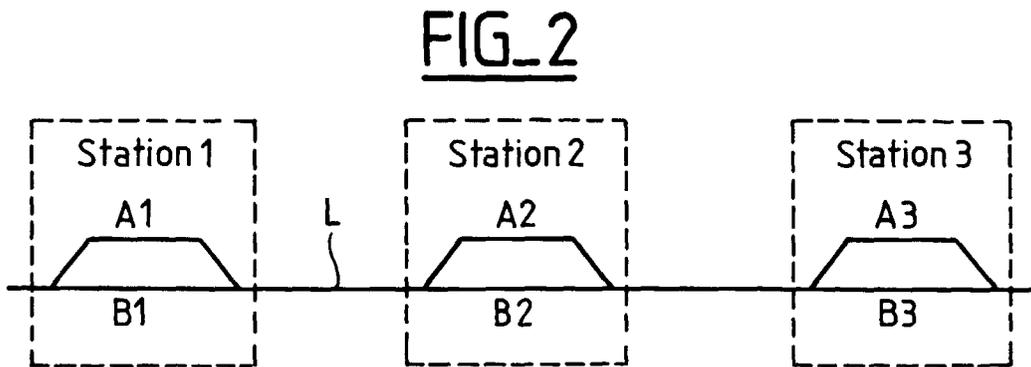
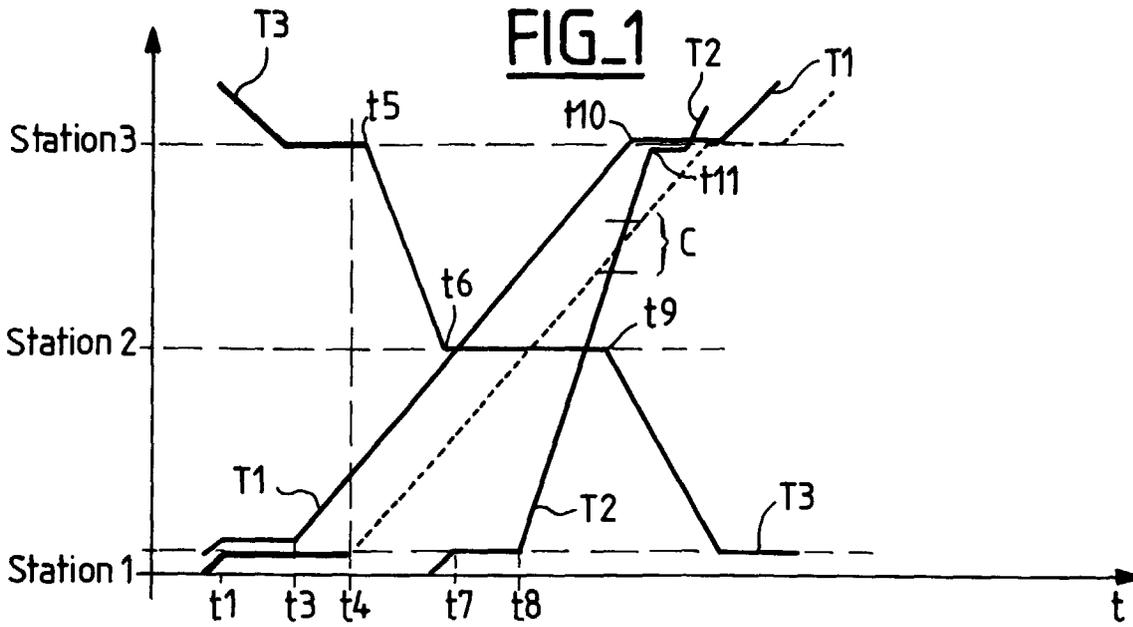
6. Agencement de traitement des conflits de table horaire dans un réseau de transport par mise en application du procédé selon l'une des revendications 1 à 5, réalisé dans le cadre d'un système de

traitement de données associé ou éventuellement inclus dans un ensemble informatique de gestion du réseau, caractérisé en ce qu'il comporte :

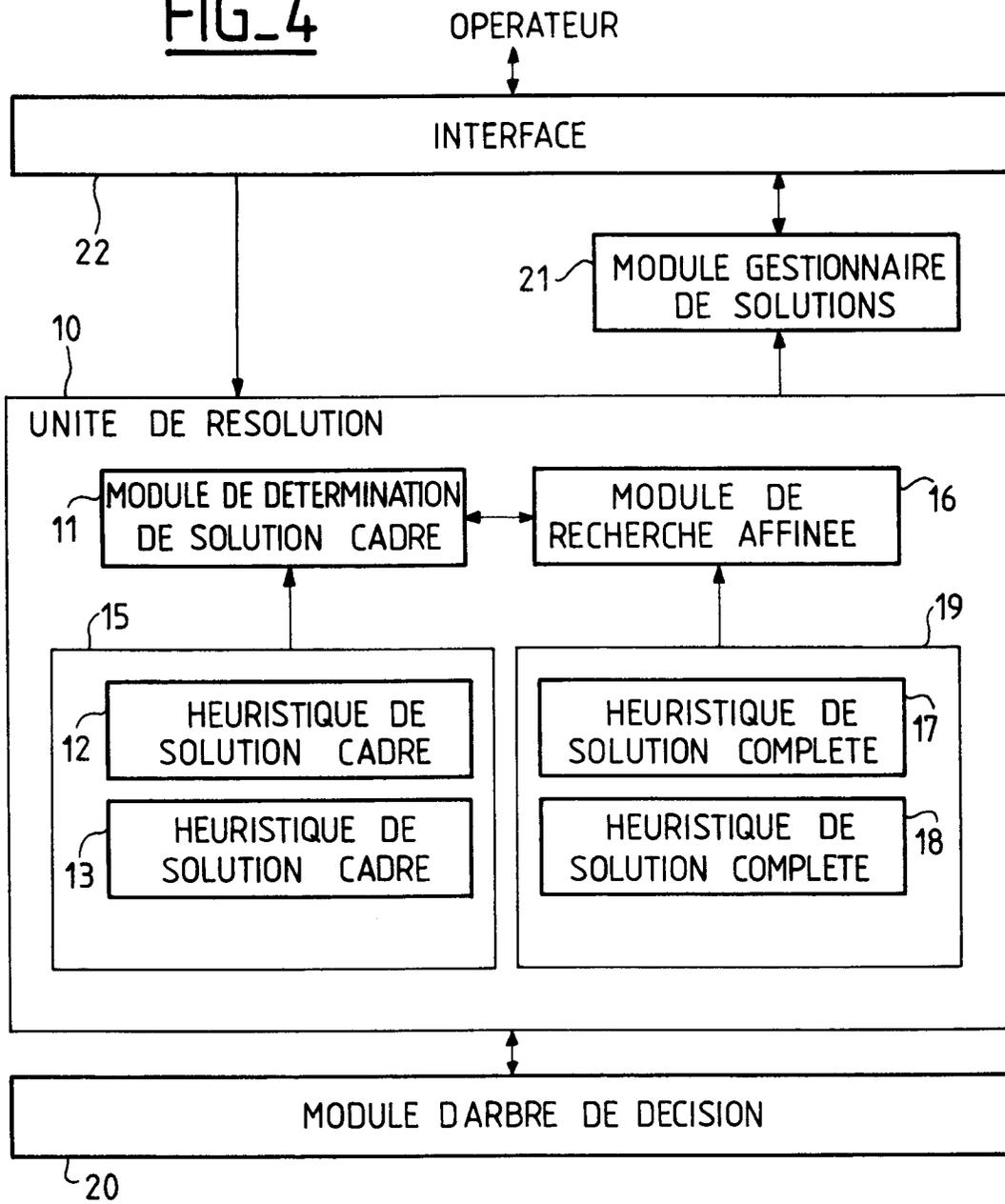
- une unité de résolution (10) comportant au moins un module de détermination de solution (11) pour procéder à des recherches de cadre de table horaire corrigée selon une heuristique de recherche choisie (12, 13) par application d'un algorithme d'optimisation à un modèle de réseau réalisé à un niveau hiérarchique dit fonctionnel en vue de fournir un cadre de table horaire corrigée à partir d'une table horaire conflictuelle et un module de recherche de solution complète (16) qui procède à des recherches de table horaire non-conflictuelle selon une heuristique de raffinement choisie (17, 18) par application d'un algorithme d'optimisation à un modèle de réseau réalisé à un niveau, dit topologique hiérarchiquement inférieur au précédent, à partir d'un cadre de table horaire corrigée fourni par le module de détermination en vue d'obtenir une table horaire non-conflictuelle, optimisée, respectant les contraintes de niveau fonctionnel et topologique et les tolérances associées au cadre de table horaire corrigée dont elle découle; 5
10
15
20
25
- un module d'arbre de décision (20) permettant aux modules de détermination et de recherche de solutions de l'unité de résolution d'exploiter un même algorithme d'exploration des solutions avec des stratégies différentes selon les heuristiques exploitées; 30
- un module gestionnaire de solutions (21) exploité pour un stockage des solutions obtenues aux différentes étapes d'obtention d'une table horaire non-conflictuelle optimale à partir d'une situation conflictuelle relative à une table horaire déterminée et pour une restitution des solutions en fonction des besoins de l'unité de résolution et de l'exploitant; 35
40
- une interface (22) de communication avec l'ensemble ou le reste de l'ensemble informatique de gestion du réseau de transport et avec le personnel exploitant. 45

50

55



FIG_4



FIG_5

