

DESCRIPTION**TITRE : Procédé de caractérisation de flux entre des éléments d'un réseau**

5

La présente invention concerne un procédé de caractérisation de flux entre des éléments d'un réseau. La présente invention concerne aussi un dispositif électronique de caractérisation associé.

10 Face à une situation évoluant dynamiquement dans le temps, les opérateurs en charge du contrôle des flux sur un réseau ont un rôle de supervision et d'analyse des phénomènes inhabituels. De tels phénomènes inhabituels sont notamment l'augmentation de la demande ou la saturation pour un trajet donné, la baisse de la demande en transport pour une station ou pour un trajet donné, les défaillances ou accidents des supports de mobilité (trains, métros, bus, vélos, ...) ou encore les accidents ou incidents de passagers.

15 Ce rôle implique la prise en compte de données massives et évolutives/dynamiques, ainsi que leur analyse en regard de connaissances métier sur la structure du réseau, l'historique du comportement des agents (utilisateurs) dans ce réseau, de connaissances extérieures sur les phénomènes influençant le réseau (localisation, attributs, événements ponctuels...), ainsi que la prise en compte des moyens d'action possibles pour résoudre ou optimiser la situation.

20

Cette tâche opérationnelle est difficilement gérable à partir de simples enregistrements de flux passagers, qui sont beaucoup trop massifs pour pouvoir être analysés tels quels par les opérateurs. Aussi, des outils ont été développés pour réduire la charge cognitive des opérateurs, en synthétisant la masse d'informations grâce à des outils analytiques (c'est-à-dire, qui prennent en compte les données et les traitent) et synthétiques (c'est-à-dire, qui résument les données et les résultats de l'analyse).

25

Pour pouvoir être exploitables, ces outils sont en grande partie automatisés au niveau de la récupération des données et de leur traitement. La plupart des systèmes proposés fonctionnent en mode unidirectionnel : des données sont regroupées, analysées, puis une décision est prise ou fournie sous forme de synthèse à un opérateur. Les systèmes sont donc configurés entièrement en amont, ou ont une capacité d'apprentissage très élevée, ce qui est difficile à réaliser en pratique, en particulier dans le cas d'événements disruptifs (discontinuités), ou rares (pas d'exemples historiques).

30

Il est connu de l'état de la technique des systèmes experts, conçus à partir de l'expertise humaine formalisée en amont du fonctionnement du système. Néanmoins, le mode de conception de tels systèmes pose des questions d'évolutivité lors des

35

changements de comportements, de disponibilité de l'expert et d'effort de conception, mais aussi la question du biais introduit par l'expert, dans la mesure où le système ne fait que répliquer ce qui lui est décrit.

5 D'autres approches supervisées classiques reposent sur un apprentissage à partir d'une base d'apprentissage. Si ces systèmes peuvent être performants pour reconnaître des situations d'intérêt déjà observées dans l'histoire du réseau, et donc "filtrer" les événements pour réduire la charge de l'opérateur, elles présentent toutefois le besoin de disposer d'une base d'apprentissage historique, mais aussi de références de normalité ou d'anormalité pour apprendre (labellisation, étiquetage). On retrouve ainsi le problème de
10 gestion de l'évolution du système lors de changements de fond des comportements du réseau (par exemple, comment gérer une nouvelle station créée sur le réseau), mais aussi de la capacité de gérer des situations imprévues ou jamais observées.

Il existe donc un besoin pour un moyen permettant de faciliter la caractérisation des flux sur un réseau.

15 A cet effet, l'invention a pour objet un procédé de caractérisation de flux entre des éléments d'un réseau, le procédé étant mis en œuvre par un dispositif électronique de caractérisation et comprenant une phase de configuration comprenant les étapes suivantes :

- 20 a. la réception de données relatives à des flux entre les éléments du réseau, dites données de flux,
- b. l'affichage, via une interface utilisateur, d'une représentation des données de flux,
- c. la réception, via l'interface utilisateur, d'au moins une contrainte utilisateur relative au regroupement des éléments du réseau, chaque contrainte
25 utilisateur étant choisie par un utilisateur en fonction de la représentation affichée des données de flux, et
- d. le regroupement, par un outil de regroupement, des éléments du réseau dans des groupes en fonction des données de flux et des contraintes utilisateur, les groupes d'éléments obtenus permettant de caractériser les flux entre les
30 éléments du réseau, les éléments étant assimilés, pour le regroupement, à des nœuds d'un graphe et les flux entre les éléments à des arêtes du graphe, chaque groupe étant tel que les nœuds correspondants aux éléments du groupe se connectent entre eux de façon similaire et se connectent de façon dissimilaire aux nœuds correspondants aux éléments des autres groupes.

Suivant des modes de mise en œuvre particuliers, le procédé comprend une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prise(s) isolément ou suivant toutes les combinaisons techniquement possibles :

- la phase de configuration comprend, après l'étape de regroupement, une étape d'affichage, via l'interface utilisateur, d'une représentation des groupes d'éléments obtenus ;
- le procédé comprend une phase de suivi dynamique comprenant les étapes suivantes pour chaque instant :
 - a. la réception des données de flux de l'instant courant,
 - b. l'affichage, via une interface utilisateur, d'une représentation des données de flux de l'instant courant,
 - c. la mise à jour éventuelle, via l'interface utilisateur, des contraintes utilisateur de sorte que les contraintes utilisateur de l'instant courant sont les contraintes utilisateur mises à jour ou les contraintes utilisateur de l'instant précédent sinon, et
 - d. la modification éventuelle, par l'outil de regroupement, des groupes d'éléments de l'instant précédent en fonction des données de flux de l'instant courant et des contraintes utilisateur de l'instant courant ;
- la phase de suivi dynamique comprend aussi pour chaque instant une étape d'affichage, via l'interface utilisateur, d'une représentation des groupes d'éléments obtenus pour l'instant courant ;
 - lors de chaque étape d'affichage d'une représentation des groupes d'éléments obtenus, il est aussi affiché un indicateur relatif à la prise en compte des contraintes utilisateur dans les regroupements effectués ;
 - lors de l'étape d'affichage d'une représentation des groupes d'éléments obtenus pour l'instant courant, les éventuelles modifications des groupes d'éléments sont mises en évidence sur la représentation affichée de sorte à faciliter la gestion des flux entre les éléments du réseau ;
 - la phase de suivi dynamique comprend une étape de génération d'une alerte et/ou de mise en œuvre d'une action lorsque les groupes d'éléments de l'instant courant sont différents des groupes d'éléments de l'instant précédent ;
 - la ou chaque contrainte utilisateur est choisie parmi :
 - a. une contrainte relative à un regroupement imposé entre des éléments du réseau, et
 - b. une contrainte relative à un regroupement interdit entre des éléments du réseau ;

- l'outil de regroupement met en œuvre un algorithme de type espérance-maximisation.

La présente invention concerne aussi un dispositif électronique de caractérisation de flux entre des éléments d'un réseau, le dispositif étant propre à mettre en œuvre un procédé tel que décrit précédemment et comprenant :

- a. une interface utilisateur,
- b. un outil de regroupement, et
- c. un outil de réception des données de flux et de communication d'une représentation des données de flux, d'une part, à l'interface utilisateur et, d'autre part, à l'outil de regroupement.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description qui suit de modes de réalisation de l'invention, donnés à titre d'exemple uniquement et en référence aux dessins qui sont :

[Fig 1], Figure 1, une représentation schématique d'un dispositif électronique de caractérisation de flux entre des éléments d'un réseau,

[Fig 2] figure 2, un organigramme d'un exemple de mise en œuvre d'un procédé de caractérisation de flux entre des éléments d'un réseau, et

[Fig 3] figure 3, une représentation schématique de contraintes utilisateurs communiquées via une interface utilisateur sur laquelle des éléments d'un réseau sont représentés.

Un dispositif électronique 10 de caractérisation de flux entre des éléments E d'un réseau R est illustré par la figure 1.

Le réseau R regroupe l'ensemble des éléments E propres à échanger des flux entre eux. Les éléments E sont des entités physiques (objets, installations...) ou des individus ou animaux.

Par exemple, le réseau R est un réseau de transport et les éléments E sont des stations du réseau R. Les flux sont dans ce cas les déplacements des transports considérés entre les stations. Le réseau de transport est, par exemple, un réseau ferroviaire (train), un réseau routier (voiture, bus, vélo) ou encore un réseau urbain (piétons, trottinettes). Dans un exemple, les stations sont des stations de location libre-service (vélos, voitures, trottinettes), pour lequel l'objectif de l'opérateur est de réapprovisionner les stations en fonction du trafic, ou de détecter des anomalies dans les profils de location, par exemple en cas de panne.

Dans un autre exemple, le réseau R est un réseau de communication ou un réseau social. Les éléments E sont alors les utilisateurs du réseau R et les flux entre les éléments E

sont par exemple le nombre d'interactions entre des couples d'utilisateurs sur un intervalle de temps donné.

Le dispositif 10 est configuré pour mettre en œuvre un procédé de caractérisation de flux entre les éléments E d'un réseau R, qui sera décrit dans la suite de la description.

5 Comme illustré par la figure 1, le dispositif 10 comprend une interface utilisateur 12, un outil de regroupement 14, et un outil 16 de réception des données de flux.

L'interface utilisateur 12 est propre à afficher des informations transmises par l'outil de regroupement 14 et par l'outil de réception 16. L'interface utilisateur 12 est également propre à recevoir des informations en provenance de l'utilisateur pour transmission au moins à l'outil de regroupement 14.

10 L'interface utilisateur 12 est une interface homme-machine. L'interface utilisateur 12 comprend, par exemple, un afficheur tel qu'un écran tactile ou non, et éventuellement un clavier et/ou une souris.

L'outil de regroupement 14 est propre à déterminer des regroupements des éléments E du réseau R, comme cela sera décrit dans la suite de la description.

L'outil de réception 16 est propre à recevoir et à communiquer une représentation des données de flux, d'une part, à l'interface utilisateur 12 et, d'autre part, à l'outil de regroupement 14, comme cela sera décrit dans la suite de la description.

20 L'outil de regroupement 14 et l'outil de réception 16 sont, par exemple, des modules logiciels, tels que des produits programme d'ordinateur comprenant des instructions de programme pour entraîner le fonctionnement respectif de l'outil de regroupement 14 et de l'outil de réception 16 lorsque de tels programmes d'ordinateur sont exécutés par un calculateur.

25 Par exemple, l'interface utilisateur 12, l'outil de regroupement 14 et l'outil de réception 16 sont intégrés dans un même calculateur. Dans ce cas, les programmes d'ordinateur sont par exemple mémorisés dans des mémoires du calculateur.

En variante, chacun de l'outil de regroupement 14 et de l'outil de réception 16 sont intégrés dans un calculateur qui lui est propre, et forment ainsi deux entités distinctes.

30 Encore en variante, les produits programmes d'ordinateur correspondant à l'outil de regroupement 14 et à l'outil de réception 16 sont mémorisés sur un même support d'informations ou des supports d'informations propres. Le ou chaque support lisible d'informations est un médium adapté à mémoriser des instructions électroniques et capable d'être couplé à un bus d'un système informatique. A titre d'exemple, le ou chaque support d'informations est une clé USB, une disquette ou disque souple (de la dénomination anglaise « *Floppy disc* »), un disque optique, un CD-ROM, un disque magnéto-optique, une

mémoire ROM, une mémoire RAM, une mémoire EPROM, une mémoire EEPROM, une carte magnétique ou une carte optique.

Un procédé de caractérisation de flux entre les éléments E d'un réseau R mis en œuvre par le dispositif 10 va maintenant être décrit en référence à l'organigramme de la figure 2 et aux exemples des figures 3 et 4 qui illustrent certaines étapes du procédé.

Le procédé de caractérisation comprend une phase de configuration 100 et, optionnellement, une phase de suivi dynamique 200.

La phase de configuration 100 correspond à la première réception de contraintes utilisateur comme cela sera décrit dans ce qui suit. La phase de configuration 100 correspond, ainsi, à un seul instant. La phase de configuration 100 seule correspond à une caractérisation de flux à un instant donné.

Lorsqu'elle est mise en œuvre, la phase de suivi dynamique 200 suit la phase de configuration 100 et comprend des étapes répétées au cours du temps. La phase de suivi dynamique 200 est, ainsi, mise en œuvre en temps réel.

La phase de configuration 100 comprend une étape 110 de réception de données relatives à des flux entre les éléments E du réseau R, dites données de flux. L'étape 110 est, par exemple, mise en œuvre par l'outil de réception 16.

Les données de flux sont, par exemple, issues de mesures effectuées sur le réseau R par des capteurs. Les données de flux sont, par exemple un décompte d'interactions ou de déplacement entre les éléments E du réseau R.

Lors de l'étape 110, les données de flux reçus sont éventuellement traitées et communiquées, le cas échéant sous la forme d'une représentation adaptée, à chacun de l'interface utilisateur 12 et de l'outil de regroupement 14. Par exemple, la représentation communiquée à l'interface utilisateur 12 a été adaptée pour être compréhensible par un utilisateur (voir figure 3 par exemple) alors que l'outil de regroupement 14 reçoit les données de flux brutes.

La phase de configuration 100 comprend une étape 120 d'affichage, via l'interface utilisateur 12, d'une représentation des données de flux. La représentation affichée est, ainsi, propre à être visualisée par un utilisateur du dispositif 10.

La phase de configuration 100 comprend une étape 130 de réception, via l'interface utilisateur 12, d'au moins une contrainte utilisateur relative au regroupement des éléments E du réseau R. Chaque contrainte utilisateur est choisie par un utilisateur en fonction de la représentation affichée des données de flux. Chaque contrainte utilisateur est communiquée à l'outil de regroupement 14.

De préférence, la ou chaque contrainte utilisateur est relative à des similarités ou des dissimilarités entre les éléments E du réseau R.

De préférence, la ou chaque contrainte utilisateur est choisie parmi :

- une contrainte relative à un regroupement imposé entre des éléments E du réseau R, et
- une contrainte relative à un regroupement interdit entre des éléments E du réseau R.

De préférence, les contraintes utilisateur sont choisies par l'utilisateur en fonction de ses propres connaissances sur le fonctionnement du réseau R, mais aussi en fonction de connaissances externes disponibles, telles que des rapports d'incidents, des événements particuliers qui conduiraient à des saturations ou fermetures de certains nœuds du réseau R.

Dans un exemple de mise en œuvre, des contraintes utilisateurs sont déjà prédéfinies, et l'utilisateur vient adapter ces contraintes (par exemple via un curseur) de façon spécifique pour le réseau R considéré.

Un exemple de contraintes utilisateur pour un réseau de transport R (métro) est illustré par la figure 3. Dans cet exemple, l'interface utilisateur 12 permet à l'utilisateur d'indiquer visuellement les contraintes de regroupement à destination de l'algorithme. Dans cet exemple, l'opérateur peut facilement proposer des groupements de stations de comportement identique (stations entourées en traits pleins), ou à l'opposé indiquer un souhait de séparation (stations entourées en pointillés).

La phase de configuration 100 comprend une étape 140 de regroupement, par l'outil de regroupement 14, des éléments E du réseau R dans des groupes en fonction des données de flux et des contraintes utilisateur. Les groupes d'éléments E obtenus permettent de caractériser les flux entre les éléments E du réseau R.

En particulier, les éléments E sont assimilés, pour le regroupement, à des nœuds d'un graphe et les flux entre les éléments E à des arêtes du graphe. Le graphe est dynamique, c'est-à-dire que ses arêtes évoluent en fonction du temps, à partir de l'évolution des données de flux. Un tel graphe est aussi discrétisé dans le temps, pour pouvoir agréger les transactions individuelles sous forme d'un comptage par intervalle. Un tel graphe est potentiellement bipartite, dans le cas où les nœuds du réseau R sont répartis en deux groupes différenciés (par exemple, un groupe de stations d'entrée, et un groupe de stations de sortie).

Chaque groupe est tel que les nœuds correspondants aux éléments E du groupe se connectent entre eux de façon similaire et se connectent de façon dissimilaire aux nœuds correspondants aux éléments E des autres groupes. Par le terme « similaire », il est entendu que les connexions sont proches mais pas forcément rigoureusement identiques.

Dans un exemple de mise en œuvre, ce graphe dynamique discrétisé est représenté sous la forme d'une suite de matrices d'adjacence pondérées. Une matrice d'adjacence pour un graphe fini à n sommets est une matrice de dimension $n \times n$ dont l'élément non diagonal a_{ij} est le nombre d'arêtes liant le sommet i au sommet j . L'élément diagonal a_{ii} est le nombre de boucles au sommet i (pour des graphes simples, ce nombre est donc égal à 0 ou 1). Ainsi, dans cet exemple, les entrées de l'outil de regroupement 14 sont des matrices d'adjacence et les sorties de l'outil de regroupement 14 sont des matrices réorganisées dont les lignes et les colonnes ont été permutées par rapport aux matrices d'adjacence d'entrée de sorte à faire apparaître des groupes.

Dans cet exemple, les nœuds du graphe dynamique sont les nœuds du réseau R , et les arêtes du graphe dynamique à chaque instant correspondent à une agrégation des interactions entre deux nœuds sur une période de temps donnée. Dans un réseau R de transport, par exemple, les nœuds du graphe dynamique sont les stations du réseau R et les arêtes à un instant donné correspondent au nombre de trajets effectué entre deux stations données sur une période de temps fixée.

Par exemple, l'outil de regroupement 14 met en œuvre un modèle mathématique paramétrique décrivant la façon dont sont générés les flux dans le réseau R ainsi qu'un algorithme d'apprentissage associé. Ces paramètres (par ex. : distributions des niveaux, connectivités, dynamique des transitions, ...) sont appris par l'algorithme à partir des données.

Par exemple, l'outil de regroupement 14 met en œuvre un algorithme de type espérance-maximisation, ce qui permet la prise en compte des contraintes utilisateur. Un algorithme espérance-maximisation (en anglais *expectation-maximization algorithm*, souvent abrégé EM) est un algorithme itératif qui permet de trouver les paramètres du maximum de vraisemblance d'un modèle probabiliste lorsque ce dernier dépend de variables latentes non observables.

Dans un exemple, il est attribué un indicateur d'importance aux contraintes utilisateurs. Les contraintes utilisateurs sont alors prises en compte pour le regroupement selon l'indicateur d'importance. Par exemple, l'outil de regroupement 14 fera en sorte de plus respecter une contrainte avec un indicateur d'importance fort qu'une contrainte avec un indicateur d'importance faible.

De préférence, la phase de configuration 100 comprend une étape 150 d'affichage, via l'interface utilisateur 12, d'une représentation des groupes d'éléments E obtenus. La représentation affichée est, ainsi, propre à être visualisée par un utilisateur du dispositif 10. La représentation affichée permet notamment d'aider à la gestion des flux entre les éléments E , par exemple de détecter des situations anormales.

De préférence, lors de chaque étape d'affichage 150, il est aussi affiché un indicateur relatif à la prise en compte des contraintes utilisateur dans les regroupements effectués. Ainsi, si les ou des contraintes ne sont pas respectées, cela permet d'indiquer des éventuelles anomalies dans les données de flux.

5 Ainsi, l'utilisateur dispose de deux sources d'information :

- Les flux réels, synthétisés sous forme d'une vue temps-réel du réseau R, et
- Les éléments E de synthèse issus de l'analyse automatique : la partition des nœuds du réseau R à chaque instant de la période d'étude du graphe et le cas échéant des paramètres du modèle estimés par l'algorithme sur les données.

10 Comme indiqué précédemment, la phase de suivi dynamique 200 comprend différentes étapes répétées pour chaque instant (temps réel de préférence).

La phase de suivi dynamique 200 comprend une étape 210 de réception des données de flux de l'instant courant. L'étape de réception 210 est, par exemple, mise en œuvre de manière similaire à l'étape de réception 110.

15 La phase de suivi dynamique 200 comprend une étape 220 d'affichage, via l'interface utilisateur 12, d'une représentation des données de flux de l'instant courant. L'étape d'affichage 220 est, par exemple, mise en œuvre de manière similaire à l'étape d'affichage 210.

20 La phase de suivi dynamique 200 comprend une étape 230 de mise à jour éventuelle, via l'interface utilisateur 12, des contraintes utilisateur de sorte que les contraintes utilisateur de l'instant courant sont les contraintes utilisateur mises à jour ou les contraintes utilisateur de l'instant précédent sinon. L'étape de mise à jour 230 est, par exemple, mise en œuvre de manière similaire à l'étape de réception 130.

25 La mise à jour est, par exemple, due à des évolutions dans le réseau R portées à la connaissance de l'utilisateur ou est en lien avec le regroupement des entités effectué à l'instant précédent.

30 La phase de suivi dynamique 200 comprend une étape 240 de modification éventuelle, par l'outil de regroupement 14, des groupes d'éléments E de l'instant précédent en fonction des données de flux de l'instant courant et des contraintes utilisateur de l'instant courant. L'étape de modification 240 est, par exemple, mise en œuvre de manière similaire à l'étape de regroupement 140.

Les modifications sont, par exemple, dues à des modifications dans le flux de données et/ou à des modifications de contraintes utilisateur.

35 La phase de suivi dynamique 200 comprend une étape 250 d'affichage, via l'interface utilisateur 12, d'une représentation des groupes d'éléments E obtenus pour

l'instant courant. L'étape d'affichage 250 est, par exemple, mise en œuvre de manière similaire à l'étape d'affichage 150.

Ainsi, de préférence, lors de chaque étape d'affichage 250, il est aussi affiché un indicateur relatif à la prise en compte des contraintes utilisateur dans les regroupements effectués.

De préférence, lors de l'étape d'affichage 250, les éventuelles modifications des groupes d'éléments E sont mises en évidence sur la représentation affichée de sorte à faciliter la gestion des flux entre les éléments E du réseau R.

Optionnellement, la phase de suivi dynamique 200 comprend une étape 260 de génération d'une alerte et/ou de mise en œuvre d'une action lorsque les groupes d'éléments E de l'instant courant sont différents des groupes d'éléments E de l'instant précédent. L'étape 260 est, par exemple, mise en œuvre par l'utilisateur ou par le dispositif 10.

Ainsi, le présent procédé met en œuvre une boucle d'interaction entre un système centré sur l'humain (interface utilisateur) et un système d'analyse automatisé (outil de regroupement), chacun contribuant à l'analyse de l'autre à travers un mode de représentation des connaissances commun, le tout de façon dynamique. La prise en compte de contraintes utilisateur par l'outil de regroupement 14 permet, ainsi, de faciliter la caractérisation des flux sur un réseau R.

En particulier, le sous-système d'analyse automatisée permet de synthétiser les flux sur le réseau R, et le cas échéant leur évolution dans le temps. Cette synthèse consiste en partie en un partitionnement (clustering) des nœuds du graphe, reposant sur une modélisation mathématique de la façon dont sont générés les flux, ainsi que sur des connaissances présentées par l'opérateur visant à rendre certaines partitions des nœuds du graphe moins probables que d'autres. Le partitionnement étant dynamique, les groupes recherchés ne se composent pas nécessairement des mêmes nœuds au cours du temps et un intérêt de l'analyse est de saisir la dynamique de ces groupes au cours du temps. L'outil de regroupement 14 transmet ensuite à l'interface utilisateur 12 une synthèse de ces résultats.

De façon symétrique, la partie centrée sur l'opérateur effectue une analyse experte à partir d'une représentation graphique des flux synthétisés par le sous-système d'analyse automatisée, possible à différentes granularités. En particulier, les changements dynamiques dans la composition des groupes sont les indices principaux pouvant être utilisés par l'opérateur pour déclencher des actions, lever des alertes ou simplement effectuer des rapports. Par exemple, il peut être souhaitable de lever une alerte lorsqu'un nombre important de nœuds du réseau R change de groupe entre deux instants successifs,

indiquant un changement important de la structure des flux à un instant donné. Ce phénomène est cependant à analyser en regard de la dynamique d'évolution précédemment observée des nœuds dans les groupes. Les résultats fournis par le système automatique à l'opérateur sont donc une suite de partitions des nœuds du graphe pour
5 chaque instant du graphe dynamique ainsi que les paramètres appris par le modèle, décrivant de manière synthétique la façon dont les groupes de nœuds interagissent et évoluent au cours du temps. Ces paramètres permettent une meilleure compréhension des résultats pour l'opérateur.

Ainsi, l'expert extrait de son analyse des indications sur les comportements
10 courants, et peut, le cas échéant, les transmettre à son tour à l'automate sous la forme d'éventuelles modifications des contraintes utilisateurs. En particulier, les contraintes utilisateurs décrivent, par exemple, des similarités spatiales, structurelles ou conjoncturelles entre des nœuds du réseau R et sont susceptibles d'évoluer dans le temps en fonction de la situation opérationnelle.

15 Ainsi, ce couplage entre l'outil de regroupement 14 et l'utilisateur via l'interface utilisateur 12, permet :

- une diminution des biais des acteurs (cognitifs pour l'opérateur, d'apprentissage pour l'automate), et une convergence rapide vers une analyse commune satisfaisante ;
- 20 - un renforcement du lien de confiance de l'humain envers l'analyse automatique ;
- une plus forte indépendance aux conditions d'opération et aux a priori que pour une analyse supervisée (à partir d'une base d'exemples).

L'homme du métier comprendra que bien que l'invention ait été décrite notamment dans le contexte des réseaux de transport, elle s'applique à n'importe quelle structure de
25 graphe évoluant dans le temps, représentable par exemple par une suite de matrices d'adjacence, pour lequel l'objectif est de tracer des changements de comportements des nœuds (et relations entre nœuds) au cours du temps.

L'homme du métier comprendra que les modes de réalisation et variantes précédemment décrits peuvent être combinés pourvu qu'ils soient compatibles
30 techniquement.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de caractérisation de flux entre des éléments (E) d'un réseau (R), le procédé étant mis en œuvre par un dispositif électronique (10) de caractérisation et comprenant une phase de configuration comprenant les étapes suivantes :
- 5 a. la réception de données relatives à des flux entre les éléments (E) du réseau (R), dites données de flux,
- b. l'affichage, via une interface utilisateur (12), d'une représentation des données de flux,
- 10 c. la réception, via l'interface utilisateur (12), d'au moins une contrainte utilisateur relative au regroupement des éléments (E) du réseau (R), chaque contrainte utilisateur étant choisie par un utilisateur en fonction de la représentation affichée des données de flux, et
- d. le regroupement, par un outil de regroupement (14), des éléments (E) du
- 15 réseau (R) dans des groupes en fonction des données de flux et des contraintes utilisateur, les groupes d'éléments (E) obtenus permettant de caractériser les flux entre les éléments (E) du réseau (R), les éléments (E) étant assimilés, pour le regroupement, à des nœuds d'un graphe et les flux entre les éléments (E) à des arêtes du graphe, chaque groupe étant tel que les
- 20 nœuds correspondants aux éléments (E) du groupe se connectent entre eux de façon similaire et se connectent de façon dissimilaire aux nœuds correspondants aux éléments (E) des autres groupes.
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la phase de configuration comprend,
- 25 après l'étape de regroupement, une étape d'affichage, via l'interface utilisateur (12), d'une représentation des groupes d'éléments (E) obtenus.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel le procédé comprend une phase de suivi dynamique comprenant les étapes suivantes pour chaque instant :
- 30 a. la réception des données de flux de l'instant courant,
- b. l'affichage, via une interface utilisateur (12), d'une représentation des données de flux de l'instant courant,
- c. la mise à jour éventuelle, via l'interface utilisateur (12), des contraintes utilisateur de sorte que les contraintes utilisateur de l'instant courant sont les
- 35 contraintes utilisateur mises à jour ou les contraintes utilisateur de l'instant précédent sinon, et

d. la modification éventuelle, par l'outil de regroupement (14), des groupes d'éléments (E) de l'instant précédent en fonction des données de flux de l'instant courant et des contraintes utilisateur de l'instant courant.

- 5 **4.** Procédé selon la revendication 3, dans lequel la phase de suivi dynamique comprend aussi pour chaque instant une étape d'affichage, via l'interface utilisateur (12), d'une représentation des groupes d'éléments (E) obtenus pour l'instant courant.
- 10 **5.** Procédé selon la revendication 2 ou 4, dans lequel lors de chaque étape d'affichage d'une représentation des groupes d'éléments (E) obtenus, il est aussi affiché un indicateur relatif à la prise en compte des contraintes utilisateur dans les regroupements effectués.
- 15 **6.** Procédé selon la revendication 4 ou la revendication 5 dans sa dépendance avec la revendication 4, dans lequel lors de l'étape d'affichage d'une représentation des groupes d'éléments (E) obtenus pour l'instant courant, les éventuelles modifications des groupes d'éléments (E) sont mises en évidence sur la représentation affichée de sorte à faciliter la gestion des flux entre les éléments (E) du réseau (R).
- 20 **7.** Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel la phase de suivi dynamique comprend une étape de génération d'une alerte et/ou de mise en œuvre d'une action lorsque les groupes d'éléments (E) de l'instant courant sont différents des groupes d'éléments (E) de l'instant précédent.
- 25 **8.** Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel la ou chaque contrainte utilisateur est choisie parmi :
- 30 a. une contrainte relative à un regroupement imposé entre des éléments (E) du réseau (R), et
- b. une contrainte relative à un regroupement interdit entre des éléments (E) du réseau (R).
- 35 **9.** Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel l'outil de regroupement (14) met en œuvre un algorithme de type espérance-maximisation.

14

10. Dispositif électronique (10) de caractérisation de flux entre des éléments (E) d'un réseau (R), le dispositif (10) étant propre à mettre en œuvre un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9 et comprenant :

- a. une interface utilisateur (12),
- b. un outil de regroupement (14), et
- c. un outil (16) de réception des données de flux et de communication d'une représentation des données de flux, d'une part, à l'interface utilisateur (12) et, d'autre part, à l'outil de regroupement (14).

5