

Approche diagnostiqueur décentralisé : application aux réseaux de télécommunication

Yannick Pencolé

Irisa, Campus de Beaulieu
35042 Rennes Cédex, France
yannick.pencole@irisa.fr
et <http://www.irisa.fr/aida/Yannick.Pencole>

Résumé

Cet article décrit une méthode de diagnostic pour des systèmes de grande taille tels que les réseaux de télécommunication. Cette méthode utilise des techniques à base de modèle. La taille du système étant importante, nous ne pouvons pas fonder le calcul d'un diagnostic sur la connaissance d'un modèle global du système. Le modèle utilisé est donc décentralisé. Nous proposons de construire des diagnostiqueurs fondés sur des comportements locaux dont le but est de déterminer des diagnostics locaux. Ensuite, un système de coordination a pour but de réunir les différents diagnostics locaux et de produire un diagnostic global du système. Cette coordination est effectuée à l'aide d'une stratégie de reconstruction qui minimise le calcul du diagnostic global.

Mots clés

Diagnostic à base de modèles, supervision, algorithmes distribués.

1 Introduction

Le problème considéré est la supervision de systèmes tels que les réseaux de télécommunication. Notre but est d'aider les opérateurs de ces systèmes à diagnostiquer les pannes à partir d'un ensemble d'événements observés (des alarmes).

Notre objectif est de proposer une technique de diagnostic à base de modèles qui peut être implantée sur un système réel, dans notre cas le plus grand réseau à commutation français. Parmi les techniques à base de modèles, on peut citer les techniques abductives et les techniques à base de simulation.

Dans une méthode abductive, le diagnostic de pannes (les causes) est produit en raisonnant sur les observations (les effets). Parmi ces méthodes, on peut citer l'approche diagnostiqueur [8] [7]. Dans cette approche, on compile l'information de diagnostic dans une structure de données (appelé *diagnostiqueur*) qui relie efficacement les observations aux pannes lors du diagnostic en ligne. Le problème majeur de cette approche est la taille de la structure de données. Pour de grands systèmes tels que les réseaux de télécommunication, il est impossible de créer une telle structure.

Les méthodes à base de simulation effectuent le suivi du comportement non-observable du système à partir des observations et du modèle. Par exemple, [1] a proposé une telle approche. Un des avantages est la possibilité d'utiliser un *modèle décentralisé* du système au lieu d'un *modèle global*. Néanmoins, le nombre de comportements du système compatibles avec les observations peut être important si bien que le calcul peut être trop long si l'on veut obtenir un diagnostic en ligne.

Nous proposons de combiner ces deux techniques afin de mettre en œuvre une méthode de diagnostic pour les systèmes de grande taille. L'architecture est fondée sur la décentralisation de diagnostiqueurs. Une telle architecture a déjà été proposée dans [4], néanmoins celle-ci nécessite la connaissance du modèle global du système. Nous proposons de construire une telle structure de données en se fondant uniquement sur un modèle local du système. Chaque *diagnostiqueur* est en mesure de produire un *diagnostic local* de manière ef-

ficace. Ensuite, pour obtenir un *diagnostic global*, un *coordinateur* produit la fusion des diagnostics locaux. Le calcul du diagnostic global s'effectue à l'aide d'une stratégie de reconstruction afin d'optimiser le calcul [5].

La première section introduit le réseau de télécommunication que nous considérons. Dans une deuxième partie, nous présentons le modèle de comportement du système. Ensuite, nous discutons de l'architecture générale de notre technique de diagnostic, en particulier de la construction d'un diagnostiqueur local et de la stratégie de coordination.

2 Application : un réseau de télécommunication

L'application de nos recherches est le plus grand réseau à commutation français. Ce réseau est une structure hiérarchique composée d'environ 10 centres techniques (CT) et 300 commutateurs (CM) (cf. fig. 1).

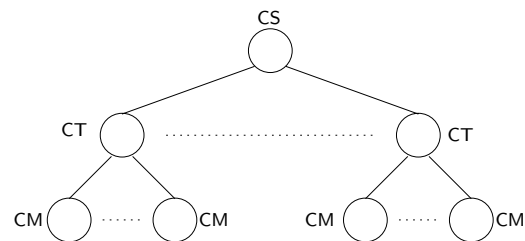


FIG. 1 – Structure hiérarchique du réseau de gestion.

Les commutateurs sont chargés d'assurer le routage des paquets de données sur le réseau. Les centres techniques assurent la gestion des commutateurs. Le centre de supervision (CS) reçoit les alarmes émises par chaque équipement du réseau (le centre de supervision ne surveille pas les transmissions de paquets de données). Le nombre d'alarmes reçues par jour est important (environ 150000), si bien que leur analyse est une tâche difficile. De plus, on doit prendre en considération le phénomène de *masquage d'alarmes* : il a lieu par exemple lorsqu'un centre technique est en panne et que l'un de ses commutateurs émet une alarme, cette alarme n'est pas reçue par le superviseur car le centre technique n'assure plus la retransmission.

Notre objectif est l'interprétation des alarmes observées pour aider l'opérateur de supervision. Cette application a déjà donné lieu à des travaux dans le projet Gaspar¹ [2] [6].

3 Modèle

3.1 Modèle global

Le modèle considéré décrit le comportement du système en cas de pannes. Une panne est modélisée par un ensemble d'événements non-observables que reçoit le système (par exemple, "début de panne 1", "fin de panne 1"). Lorsqu'un tel événement (Σ_{panne}) est reçu, on suppose que le système réagit instantanément et peut émettre des événements observables (Σ_{obs}). Ce comportement est modélisé par un automate communicant à état fini [3].

Définition 1

Le modèle global d'un système est un automate communicant $\Gamma = (\Sigma_{panne}, 2^{(\Sigma_{obs})^*}, Q, E)$ où

- Σ_{panne} est l'ensemble des événements exogènes (événements de panne) du système ;
- Σ_{obs} est l'ensemble des événements observables (alarmes) du système ;
- Q est l'ensemble des états globaux du système ;
- $E \subseteq (Q \times \Sigma_{panne} \times 2^{(\Sigma_{obs})^*} \times Q)$ est l'ensemble des transitions: une transition est composée d'un événement de panne de Σ_{panne} (événement déclenchant) et d'un ensemble d'observations (de Σ_{obs}) en réaction à l'événement de panne.

Dans de grands systèmes, la taille d'un tel modèle est importante. Par exemple, dans notre application, un modèle simplifié du réseau contient déjà $2^{10}4^{300}$ états. Aussi, une technique de diagnostic réaliste pour de tels systèmes ne peut se fonder sur le modèle global. Nous devons donc utiliser un autre type de modèle pour la production de diagnostics : un modèle décentralisé.

3.2 Modèle décentralisé

Les systèmes que nous considérons sont distribués. Ils sont composés de sous-systèmes qui interagissent entre eux. Un sous-système est modélisé par un *composant* qui décrit le comportement en cas de panne du sous-système. Dans le modèle décentralisé, deux types d'événements peuvent survenir: des événements exogènes au système (Σ_{panne}) ou des événements internes (Σ_{int}). Le premier type d'événements est l'ensemble des événements exogènes du modèle global. Le second décrit la propagation des événements de pannes dans le système. On considère que ces deux types d'événements sont non-observables ($(\Sigma_{int} \cup \Sigma_{panne}) \cap \Sigma_{obs} = \emptyset$). Un composant Γ_i réagit soit à un événement exogène Σ_{panne}^i soit à un événement interne (émis par un autre composant du système) ($\Sigma_{intrecu}^i$). Il peut émettre des événements observables (Σ_{obs}^i) ou des événements affectant d'autres composants ($\Sigma_{intémis}^i$). On suppose que deux composants du modèle n'émettent pas les mêmes événements (observables et internes).

Définition 2

Un composant du modèle décentralisé est un automate communicant $\Gamma_i = (\Sigma_{dec}^i, 2^{(\Sigma_{émis}^i)^*}, Q_i, E_i)$ où

- Σ_{dec}^i est l'ensemble des événements déclencheurs ($\Sigma_{dec}^i = \Sigma_{panne}^i \cup \Sigma_{intrecu}^i$);
- $\Sigma_{émis}^i$ est l'ensemble des événements émis par le composant ($\Sigma_{émis}^i = \Sigma_{obs}^i \cup \Sigma_{intémis}^i$);
- Q_i est l'ensemble des états du composant ;
- $E_i \subseteq (Q_i \times \Sigma_{dec}^i \times 2^{(\Sigma_{émis}^i)^*} \times Q_i)$ est l'ensemble des transitions.

Un modèle décentralisé du système est la réunion des composants qui modélisent les sous-systèmes.

Définition 3

Un modèle décentralisé Γ_{dec} est un ensemble de composants $\{\Gamma_1, \dots, \Gamma_n\}$, un ensemble d'événements de pannes (Σ_{panne}), un ensemble d'événements observables (Σ_{obs}) et un ensemble d'événements internes (Σ_{int}) tels que :

- $\{\Sigma_{obs}^1, \dots, \Sigma_{obs}^n\}$ est une partition de Σ_{obs} ;

1. Projet en collaboration avec France Telecom R&D (projet CNET/CNRS 93 1B 142 513).

- $\{\Sigma_{panne}^1, \dots, \Sigma_{panne}^n\}$ est une partition de Σ_{panne} ;
- $\{\Sigma_{intrecu}^1, \dots, \Sigma_{intrecu}^n\}$ et $\{\Sigma_{intémis}^1, \dots, \Sigma_{intémis}^n\}$ sont deux partitions de Σ_{int} ;
- $\forall e \in \Sigma_{int}, \exists ! \Gamma_i | e \in \Sigma_{intrecu}^i \wedge \exists ! \Gamma_j | e \in \Sigma_{intémis}^j \wedge i \neq j$.

Un tel modèle est présenté sur la figure 2. Il dispose de quatre composants $(\Gamma_1, \dots, \Gamma_4)$. Les événements observables de chaque composant $\Gamma_{j, (j \in \{1, \dots, 4\})}$ sont notés o_{jk} . L'événement m_{jk} est un événement interne qui est émis par le composant Γ_j et reçu par le composant Γ_k . Les événements de panne (exogènes) sont notés P_1, \dots, P_8 .

Par exemple, si Γ_1 est dans l'état 1 et reçoit l'événement de panne P_1 , alors Γ_1 émet l'événement observable o_{11} et la panne P_1 se propage dans le système par l'émission des événements internes m_{12} et m_{13} respectivement sur Γ_2 et Γ_3 . Le composant Γ_1 va alors dans l'état 2. Ensuite, si Γ_2 est dans l'état 2 et qu'il reçoit m_{12} , il reste dans l'état 2 sans rien émettre. Si Γ_3 est dans l'état 1 et qu'il reçoit m_{13} alors il passe en l'état 2 sans rien émettre.

Notre objectif est de calculer un diagnostic du système fondé sur un modèle décentralisé et ainsi éviter la construction du modèle global. Dans un premier temps, on extrait les informations de diagnostic locales à chaque composant et on constitue un *diagnostic local*. Ensuite, on coordonne les diagnostics locaux pour obtenir un *diagnostic global*.

Dans la section suivante, nous définissons les notions de *diagnostic global* et *local*. Nous présentons également l'architecture du système de diagnostic.

4 Système de diagnostic

4.1 Hypothèses sur les observations

Dans les systèmes que nous considérons, on suppose qu'un superviseur reçoit les observations de chaque composant du système. Chaque observation dispose d'une information sur le composant causant son émission ainsi que sa date de réception

au superviseur. Ainsi, nous ne connaissons pas la date d'émission des observations. Étant donné la nature topologiquement répartie d'un réseau de télécommunication, l'ordre d'émission des observations de deux équipements distincts peut être différent de l'ordre de réception.

Par souci de généralité, on considère que le superviseur reçoit un ensemble de séquences $\sigma_1, \dots, \sigma_n$ où σ_i est la séquence des événements observés, émis par le composant Γ_i ($\sigma_i \in (\Sigma_{obs}^i)^*$). Le diagnostic doit prendre en compte tous les ordres possibles d'émission d'observations, étant donné que nous ne disposons pas d'un ordre entre deux observations de deux composants différents. Les séquences d'observations reçues par le superviseur constituent donc un ensemble partiellement ordonné que nous noterons par la suite $\mathcal{O} = \{\sigma_1, \dots, \sigma_n\}^2$. Par exemple, dans le modèle de la figure 2, si le superviseur reçoit l'ensemble $\mathcal{O} = \{o_{11}o_{13}, o_{22}, o_{31}, \epsilon\}$, le diagnostic doit prendre en compte les ordres suivants : $o_{11}o_{13}o_{31}o_{22}, o_{31}o_{11}o_{13}o_{22}, o_{22}o_{11}o_{31}o_{13}$ etc.

4.2 Notion de diagnostic global

Dans la supervision de systèmes tels que les réseaux de télécommunication, produire un diagnostic consiste à fournir deux types d'informations. La première information est l'ensemble des séquences de pannes pouvant produire les observations reçues par le superviseur. Une telle séquence de pannes est un chemin de transitions du modèle global Γ dont les événements émis sont compatibles avec les observations : il peut exister un nombre infini de solutions (un cycle d'événements non-observables peut se produire un nombre infini de fois). Le second type d'information est l'ensemble des états possibles du système après l'émission des observations. Ainsi, nous proposons de définir un *diagnostic global* d'un tel système à l'aide d'un automate communicant.

Définition 4

Soit $\Gamma = (\Sigma_{panne}, 2^{(\Sigma_{obs})^*}, Q, E)$ le modèle global du système supervisé, le diagnostic global du système sachant qu'il était dans un état x et que le superviseur a reçu l'ensemble des observations

2. Si l'un des σ_i est égal à ϵ , cela signifie que le superviseur n'a reçu aucune observation du composant Γ_i .

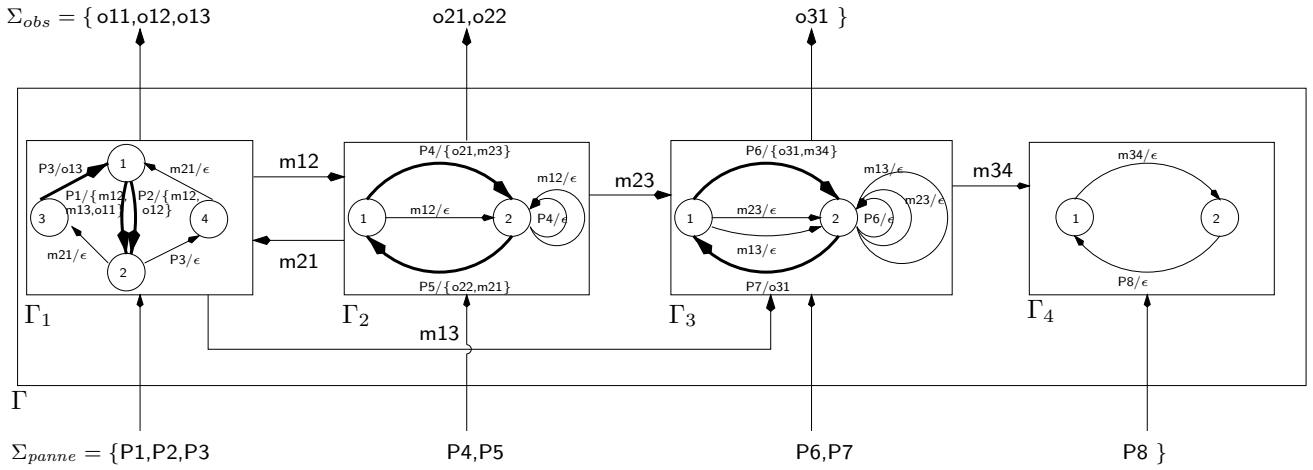


FIG. 2 – Modèle décentralisé d'un système à quatre composants. Le système peut être affecté de 8 types de pannes : P_1, \dots, P_8 . Il peut émettre 6 types d'observables (les transitions émettant les observables sont en gras). Des événements internes circulent lorsque des événements de pannes se propagent.

$\mathcal{O} = \{\sigma_1, \dots, \sigma_n\}$ est défini par l'automate communicant :

$$\Delta(x, \mathcal{O}) = (\Sigma_{panne}, 2^{(\Sigma_{obs})^*}, Q_{\mathcal{O}}, (x, \{\epsilon, \dots, \epsilon\}), F_{\mathcal{O}}, E_{\mathcal{O}})$$

où

- $Q_{\mathcal{O}} \subseteq Q \times Pr(\mathcal{O})$ est l'ensemble des états. $Pr(\mathcal{O})$ est le langage préfixe des sous-séquences représentées par \mathcal{O} . Ainsi, un état du diagnostic associe un état du système et l'ensemble partiellement ordonné des observations déjà expliquées dans cet état de diagnostic.
- $(x, \{\epsilon, \dots, \epsilon\})$ est l'état initial du diagnostic. On suppose que le système est dans l'état x et que l'ensemble des observations expliquées dans cet état est l'ensemble vide $\{\epsilon, \dots, \epsilon\}$.
- $F_{\mathcal{O}}$ est l'ensemble des états finals du diagnostic. Il contient tous les états dans lequel le système peut être après l'observation de \mathcal{O} et sous l'hypothèse qu'il était dans l'état x auparavant.
- $E_{\mathcal{O}} \subseteq (Q_{\mathcal{O}} \times \Sigma_{panne} \times 2^{(\Sigma_{obs})^*} \times Q_{\mathcal{O}})$ est l'ensemble des transitions de pannes qui produisent des événements observables compatibles avec les événements observés de \mathcal{O} .

Sur la figure 3, nous présentons le diagnostic global du système décrit par la figure 2 où l'on suppose que l'état initial global du système est $(1,1,1,1)$ et que l'ensemble des observations est

$\mathcal{O} = \{o_{12}, \epsilon, o_{31}, \epsilon\}$. Un comportement expliquant les observations est représenté par un chemin de transitions entre l'état initial et un état final. L'automate contient des cycles de transitions ce qui signifie que le nombre possible de comportements expliquant les observations est infini.

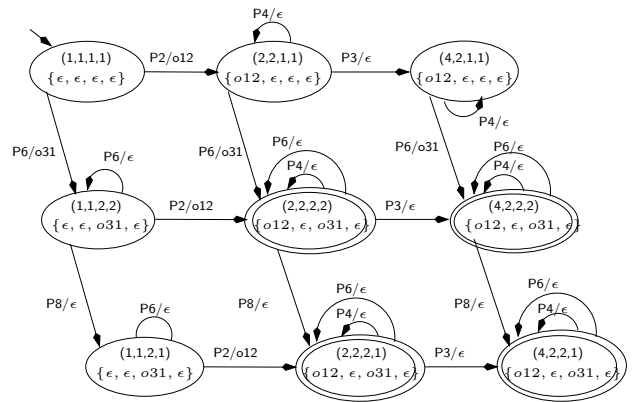


FIG. 3 – Un diagnostic global du système modélisé sur la figure 2. On suppose que l'état initial du système est $(1,1,1,1)$ et que l'ensemble d'observations est $\mathcal{O} = \{o_{12}, \epsilon, o_{31}, \epsilon\}$: $\Delta((1, 1, 1, 1), \mathcal{O})$.

4.3 Notion de diagnostic local

Un diagnostic local à un composant est établi en fonction des observations émises par ce composant. Étant donné un ensemble global d'observations $\mathcal{O} = \{\sigma_1, \dots, \sigma_n\}$, le diagnostic local du

composant Γ_i est uniquement construit sur l'observation de la séquence σ_i . Un diagnostic local contient l'ensemble des séquences d'événements exogènes et de propagation qui expliquent les observations locales.

Définition 5

Soit $\Gamma_i = (\Sigma_{dec}^i, 2^{(\Sigma_{emis}^i)^*}, Q_i, E_i)$ un composant du système, le diagnostic local de Γ_i sachant que le composant est dans l'état x_i et qu'il émet la séquence d'observation σ_i est défini par l'automate communicant :

$$\Delta_i(x_i, \sigma_i) = (\Sigma_{dec}^i, 2^{(\Sigma_{emis}^i)^*}, Q_{\sigma_i}, (x_i, \epsilon), F_{\sigma_i}, E_{\sigma_i})$$

où

- $Q_{\sigma_i} \subseteq Q_i \times Pr(\sigma_i)$ est l'ensemble des états. $Pr(\sigma_i)$ est le langage préfixe de la séquence σ_i . Un état du diagnostic local associe un état du composant Γ_i et une sous-séquence de σ_i expliquée dans cet état de diagnostic.
- (x_i, ϵ) est l'état initial du diagnostic. On suppose que le composant est dans l'état x_i et qu'aucune observation n'a déjà été expliquée.
- F_{σ_i} est l'ensemble des états finals du diagnostic local. Cet ensemble contient tous les états dans lequel le composant peut être après l'observation de σ_i et sous l'hypothèse qu'il était dans l'état x_i auparavant.
- $E_{\sigma_i} \subseteq (Q_{\sigma_i} \times \Sigma_{dec}^i \times 2^{(\Sigma_{emis}^i)^*} \times Q_{\sigma_i})$ est l'ensemble des transitions de pannes et d'événements internes. Une telle transition peut émettre des événements observables et/ou des événements internes.

Sur la figure 4 est représenté le diagnostic local de Γ_1 correspondant au problème décrit sur la figure 3 : localement, nous supposons que le composant Γ_1 est dans l'état 1 et que les observations sont o_{12} . Selon les observations nous sommes donc sûrs que le composant a émis l'événement interne m_{12} vers Γ_2 . Après l'observation de o_{12} , le composant peut avoir un comportement non-observable qui est aussi représenté dans le diagnostic local (par exemple, réception de l'événement m_{21} du compo-

sant Γ_2 qui fait passer Γ_1 dans l'état 3).

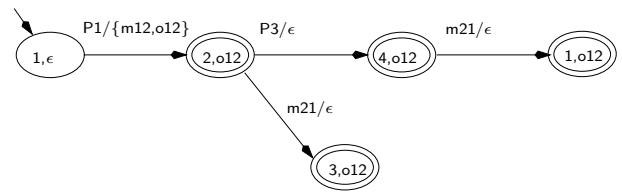


FIG. 4 – Diagnostic local du composant Γ_1 (état initial 1) après l'observation de $\mathcal{O} = \{o_{12}, \epsilon, o_{31}, \epsilon\} : \Delta_1(1, o_{12})$.

Un diagnostic local est construit à partir des observations locales, aussi il est indépendant des autres observations. De plus, ce diagnostic est construit sous l'hypothèse que les événements de propagation qu'il propose peuvent se produire. Cela implique qu'un tel diagnostic est moins contraint. Certains comportements candidats proposés peuvent ne pas être compatibles avec l'ensemble des observations du système (les événements d'interaction entre deux diagnostics locaux peuvent être incompatibles). Par exemple, sur la figure 4, le diagnostic affirme que le composant peut être dans 4 états après l'observation de o_{12} (1,2,3,4) alors que globalement le composant ne peut être que dans les états 2 ou 4 (cf. fig. 3). Le composant ne peut être dans les états 1 ou 3 car cela suppose la réception d'un événement interne m_{21} qui n'a pas pu se produire globalement.

4.4 Architecture du système de diagnostic

Étant donné un ensemble d'observations, la première étape consiste à calculer le diagnostic local de chaque composant. Ensuite, ces diagnostics sont fusionnés par un coordinateur qui produit le diagnostic global. On suppose que le coordinateur dispose d'un ensemble possible d'états initiaux du système. Une fois que le processus est activé (demandé par l'utilisateur), le coordinateur récupère l'ensemble des observations $\mathcal{O} = \{\sigma_1, \dots, \sigma_n\}$ acquis par le superviseur. Ensuite, pour chaque état initial $x = \{x_1, \dots, x_n\}$, le coordinateur demande un diagnostic local de chaque composant Γ_i à partir de l'état x_i en supposant l'observation de σ_i .

Cette demande s'effectue auprès d'un processus de construction de diagnostic local Δ_i . Ce processus est en charge de construire $\Delta_i(x_i, \sigma_i)$ qui est ensuite retourné au coordinateur. Une fois que tous les diagnostics locaux sont construits, le coordinateur établit une stratégie de construction du diagnostic global et l'applique pour obtenir enfin le résultat $\Delta(x, \mathcal{O})$ (cf. fig. 5).

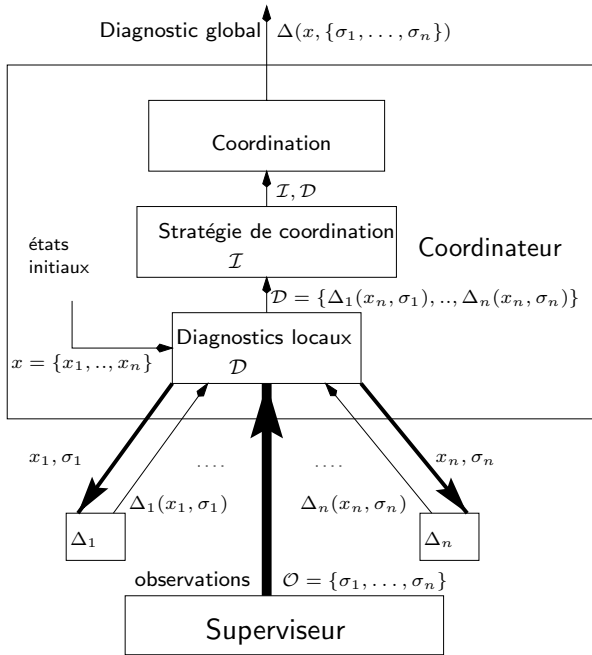


FIG. 5 – Architecture du système de diagnostic : calcul de $\Delta(x, \{\sigma_1, \dots, \sigma_n\})$.

Les deux sections suivantes sont consacrées à la construction des diagnostics locaux et du diagnostic global.

5 Diagnostic local

Pour construire un diagnostic local, l'algorithme doit identifier dans le composant les chemins de transitions qui expliquent les observations. Cette identification peut s'effectuer à l'aide d'un algorithme de recherche en profondeur d'abord. Nous proposons d'éviter ce calcul lors du diagnostic en ligne en pré-compilant des informations de diagnostic dans une structure appelée *diagnostiqueur local*. Cette structure notée Δ_i pour le composant Γ_i est un automate construit hors-ligne qui est en

mesure de construire efficacement un diagnostic local en ligne étant donné un état initial du composant et une séquence d'observations. Un *diagnostiqueur local* est une adaptation des diagnostiqueurs fondés sur un modèle global qui sont proposés dans [8] et [4].

5.1 Construction du diagnostiqueur local

La construction du diagnostiqueur nécessite des définitions intermédiaires.

Définition 6

On appelle transition observable, une transition d'un composant qui émet au moins un événement observable.

Les transitions observables du modèle représenté sur la figure 2 sont en gras.

Définition 7

On appelle état observable, un état d'un composant qui est la cible d'une transition observable.

Définition 8

Soit x un état observable du composant Γ_i , on note $\Gamma_i^{no}(x)$ l'ensemble des transitions non-observables de Γ_i qui peuvent être atteintes à partir de x par des transitions non-observables.

$\Gamma_i^{no}(x)$ constitue l'ensemble des comportements non-observables possibles du composant Γ_i à partir de l'état x sous l'hypothèse que le composant n'a émis aucune observation après être passé dans l'état x (cf. fig. 6).

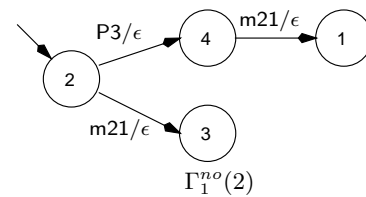


FIG. 6 – Comportements non-observables possibles du composant Γ_1 à partir de l'état 2.

L'idée du diagnostiqueur local est de produire une structure de données qui permet de suivre efficacement le comportement observable

d'un composant et qui fournit les comportements non-observables possibles entre les transitions observables. Le diagnostiqueur est défini à l'aide d'un automate dont les transitions sont des transitions observables du composant associé et dont les états regroupent des informations sur le comportement non-observable du composant.

Définition 9

Un diagnostiqueur local est un automate communiquant Δ_i défini de la façon suivante :

$$\Delta_i = (\Sigma_{dec}^i, 2^{(\Sigma_{emis}^i)^*}, Q_{\Delta_i}, E_{\Delta_i})$$

où

- Q_{Δ_i} est un ensemble de couples $(x, \Gamma_i^{no}(x))$ où x est un état observable de Γ_i ;
- $E_{\Delta_i} \subseteq (Q_{\Delta_i} \times \Sigma_{dec}^i \times 2^{(\Sigma_{emis}^i)^*} \times Q_{\Delta_i})$ est l'ensemble de transitions.

Les transitions du diagnostiqueur Δ_i sont uniquement constituées de transitions observables du composant Γ_i . Une transition d'un état $x_{\Delta_i}(x_1) = (x_1, \Gamma_i^{no}(x_1))$ à un état $x_{\Delta_i}(x_2) = (x_2, \Gamma_i^{no}(x_2))$ est définie dans le diagnostiqueur si et seulement si il existe dans Γ_i un chemin de transitions non-observables à partir de x_1 (chemin appartenant donc à $\Gamma_i^{no}(x_1)$) qui permet d'atteindre une transition observable dont la cible est x_2 . Formellement, on définit une transition t_{Δ_i} du diagnostiqueur par :

$$t_{\Delta_i} = ((x_1, \Gamma_i^{no}(x_1)), dec, emis, (x_2, \Gamma_i^{no}(x_2))) \in E_{\Delta_i}$$

$$\equiv \exists t_{\Gamma_i} \in \Gamma_i | t_{\Gamma_i} = (x'_1, dec, emis, x_2) \wedge x'_1 \in \Gamma_i^{no}(x_1).$$

Le diagnostiqueur du composant Γ_1 est représenté sur la figure 7. Les états observables de Γ_1 sont les états 1 et 2 ; ils sont représentés comme les états initiaux des ensembles de transitions non-observables ($\Gamma_1^{no}(1)$ et $\Gamma_1^{no}(2)$). Ce diagnostiqueur est ainsi composé de deux états ($x_{\Delta_1}(1)$ et $x_{\Delta_1}(2)$).

Ainsi, le diagnostiqueur est une structure capable de suivre le comportement observable du composant associé. De plus, chaque état du diagnostiqueur contient un ensemble de transitions non-

observables que le composant peut franchir entre chaque transition observable.

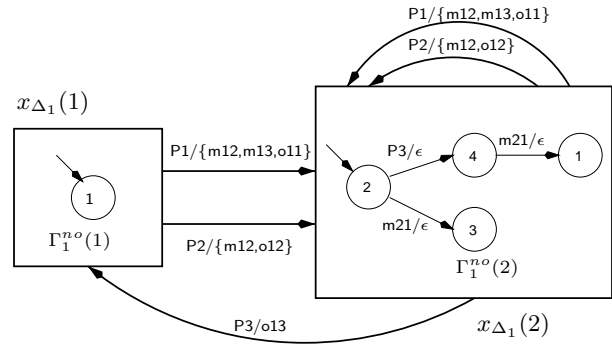


FIG. 7 – Diagnostiqueur local de Γ_1 .

5.2 Construction de diagnostics locaux

Chaque état de Δ_i contient un ensemble de chemins non-observables $\Gamma_i^{no}(x)$ où x est un état observable de Γ_i . Si nous observons un événement o alors que nous savons que le composant était dans l'état x , cela signifie qu'un sous-ensemble des transitions de $\Gamma_i^{no}(x)$ a pu avoir lieu avant l'émission de o . Notons par la suite $\Gamma_i^{no}(x, o)$ ce sous-ensemble. Autrement dit, $\Gamma_i^{no}(x, o)$ est l'ensemble des transitions qui ont pu avoir lieu avant l'émission de o alors que le composant était dans l'état x auparavant³.

Si nous concaténons $\Gamma_i^{no}(x, o)$ avec les transitions de sortie du diagnostiqueur étiquetées par l'événement o , nous obtenons l'ensemble des transitions possibles du composant Γ_i qui expliquent l'observation de o après que le composant ait été dans l'état x . Sur la figure 8, l'état observable considéré est l'état 2 du composant Γ_1 et l'observation est o_{13} . Les chemins non-observables de Γ_1 à partir de l'état 2 sont décrits dans le diagnostiqueur par $\Gamma_1^{no}(2)$. Si le prochain événement observable est o_{13} , alors les chemins non-observables possibles sont $\Gamma_1^{no}(2, o_{13})$, c.-à-d. une partie de $\Gamma_1^{no}(2)$ uniquement composée de la transition de l'état 2 vers l'état 3. L'explication de o_{13} à partir de l'état 2 est donc obtenue en concaténant les transitions du

3. $\Gamma_i^{no}(x, o)$ peut être construit en marquant par une étiquette o les transitions non-observables de $\Gamma_i^{no}(x)$ pendant la construction du diagnostiqueur. Ainsi, sa construction est efficace, on ne retient que les transitions marquées par o .

diagnostiqueur étiquetées par o_{13} aux chemins non-observables de $\Gamma_1^{no}(2, o_{13})$ (cf. fig. 8 à droite).

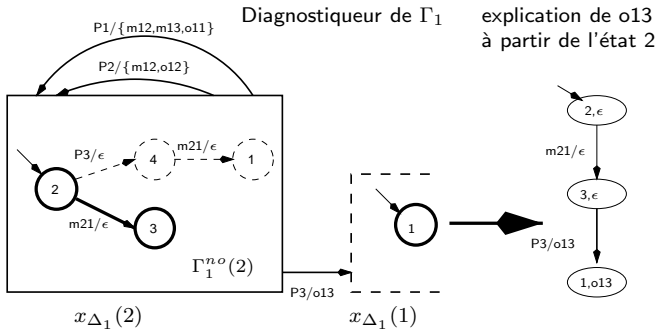


FIG. 8 – Construction de l'explication de l'observation o_{13} à partir de l'état 2 du composant Γ_1 .

Ainsi, la construction d'un diagnostic local est réduite à un suivi du comportement observable du diagnostiqueur à partir d'un état donné du composant et à l'extraction des chemins non-observables compilés dans les états du diagnostiqueur. Dans le cas où un état $x_{\Delta_i}(x)$ du diagnostiqueur est le dernier état atteint (plus d'événement observé ensuite), cela signifie que le composant peut être dans n'importe quel état de $\Gamma_i^{no}(x)$; $\Gamma_i^{no}(x)$ est donc concaténé afin de terminer la construction du diagnostic local. Les états résultant de la concaténation de $\Gamma_i^{no}(x)$ sont les états finals du diagnostic local.

Sur la figure 9, nous présentons finalement la construction du diagnostic local $\Delta_1(1, o_{12}o_{13})$.

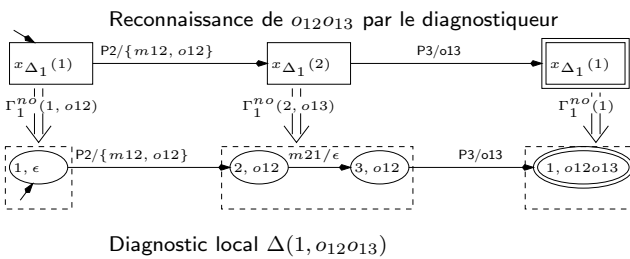


FIG. 9 – Construction du diagnostic local $\Delta_1(1, o_{12}o_{13})$: suivi du comportement observable à l'aide du diagnostiqueur et concaténation des informations de diagnostic.

Pour résumer, la construction d'un diagnostic local consiste à suivre le comportement observable du composant à l'aide du diagnostiqueur. Cet

automate évite la recherche en ligne des transitions expliquant les observations grâce à une pré-compilation des chemins non-observables et un accès direct aux transitions observables du composant.

6 Diagnostic global

Étant donné un ensemble partiellement ordonné d'observations $\mathcal{O} = \{\sigma_1, \dots, \sigma_n\}$ et un état global du système $x = (x_1, \dots, x_n)$, chaque diagnostiqueur local est en mesure de calculer un diagnostic local $\Delta_i(x_i, \sigma_i)$. La deuxième phase est la construction du diagnostic global à partir des résultats locaux.

6.1 Fusion des diagnostics locaux

Nous avons défini un diagnostic local à l'aide d'un automate qui représente les comportements possibles d'un composant en fonction des observations locales à ce composant. Lors de la construction d'un tel diagnostic, nous ne prenons pas en compte les interactions possibles entre les composants (émission/réception d'événements internes). Aussi, un diagnostic local représente un ensemble de comportements dont certains ne sont pas compatibles avec les comportements diagnostiqués sur les autres composants. L'objectif de la fusion de deux diagnostics est d'éliminer ces comportements incompatibles et de calculer les comportements partagés par les différents composants en vue d'obtenir le diagnostic global du système.

Cette fusion s'effectue à l'aide d'une opération de composition sur des automates communicants. Cette composition est la composition classique (dite parallèle) synchronisée sur les événements internes [2]. Un état de diagnostic résultat de la composition sera marqué final si et seulement si cet état est la composition d'états finals de diagnostics locaux. Par la suite, nous noterons cette opération de composition \odot . Sur la figure 10 (à droite), nous présentons le résultat de la composition des diagnostics locaux $\Delta_1(1, o_{12})$ (cf. figure 4) et $\Delta_2(1, \epsilon)$

(cf. figure 10 à gauche).

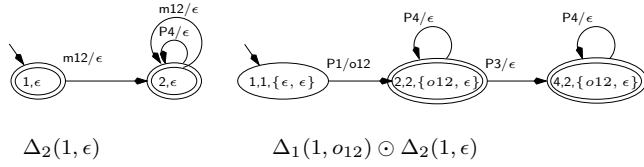


FIG. 10 – Fusion des diagnostics locaux $\Delta_1(1, o_{12})$ et $\Delta_2(1, \epsilon)$. $\Delta_1(1, o_{12}) \odot \Delta_2(1, \epsilon)$ est le diagnostic des composants Γ_1 et Γ_2 quand ils sont chacun dans l'état 1 et que l'ensemble des observations de Γ_1 et Γ_2 est $\{o_{12}, \epsilon\}$.

Le résultat $\Delta_1(1, o_{12}) \odot \Delta_2(1, \epsilon)$ contient trois états. Ce diagnostic composé représente l'ensemble des séquences d'événements qui peuvent se produire sur le système (Γ_1, Γ_2) lorsque chaque composant est dans son état 1 et que l'événement o_{12} de Γ_1 est observé. Dans $\Delta_1(1, o_{12})$, dans l'état $(1, \epsilon)$, un événement interne m_{12} est diagnostiqué comme étant émis par Γ_1 après la réception de l'événement P_1 . Dans $\Delta_2(1, \epsilon)$, dans l'état $(1, \epsilon)$, le même événement est supposé avoir été reçu. Ainsi, ces deux comportements locaux sont compatibles entre eux car l'émission et la réception de m_{12} peuvent être synchronisés. Dans $\Delta_1(1, o_{12}) \odot \Delta_2(1, \epsilon)$, ce comportement est décrit par la transition étiquetée P_1/o_{12} de l'état $(1, 1, \{\epsilon, \epsilon\})$ vers l'état $(2, 2, \{o_{12}, \epsilon\})$.

Avec cette opération de composition, nous obtenons ainsi le diagnostic global du système en appliquant l'opération sur tous les diagnostics locaux :

$$\Delta(x, \mathcal{O}) = \bigodot_{i=1}^n \Delta(x_i, \sigma_i)$$

Par exemple, le diagnostic global de la figure 3 est obtenu par l'opération $\Delta((1, 1, 1, 1), \{o_{12}, \epsilon, o_{31}, \epsilon\}) = \Delta_1(1, o_{12}) \odot \Delta_2(1, \epsilon) \odot \Delta_3(1, o_{31}) \odot \Delta_4(1, \epsilon)$.

6.2 Stratégie pour la fusion des diagnostics

6.2.1 Principe

La composition \odot est une opération commutative et associative : on peut composer les diag-

nostics dans n'importe quel ordre et on peut effectuer des opérations en parallèle. Bien que le résultat de la composition soit le même, l'ordre des compositions peut être plus ou moins efficace. La première tâche du coordinateur va donc consister à déterminer une stratégie de composition en vue de paralléliser au mieux les compositions et optimiser les calculs.

Afin de minimiser les calculs, l'idée est d'éliminer le plus de comportements incompatibles lors des premières opérations de composition. Deux comportements de deux composants différents sont incompatibles si leurs interactions respectives ne sont pas synchronisables. Ainsi, si nous appliquons la composition sur deux diagnostics qui interagissent directement avant tout autre composition, nous éliminons rapidement les incompatibilités.

Le problème est donc de déterminer quels sont les composants qui interagissent entre eux. On peut utiliser l'information statique extraite du modèle décentralisé ; par exemple, sur la figure 2, nous savons que Γ_1 peut interagir avec Γ_2 et Γ_3 (avec les événements internes m_{12} , m_{21} et m_{13}). Néanmoins, on peut être plus précis et efficace si on est capable de déduire les interactions possibles à partir des diagnostics locaux. Par exemple, dans le diagnostic local de la figure 4, nous savons que Γ_1 peut interagir avec Γ_2 mais pas avec Γ_3 . Par conséquent, nous savons que Γ_1 et Γ_3 ont des diagnostics locaux indépendants.

6.2.2 Calcul des interactions entre composants

Les informations sur les interactions possibles d'un composant peuvent être extraites de son diagnostic local en notant les transitions du diagnostic qui décrivent une émission ou une réception d'événements internes (Σ_{int}) et les composants avec lesquels il y a interaction. Cette information peut être pré-compilée dans le diagnostiqueur local.

Sur la figure 11, nous présentons le diagnostiqueur de Γ_1 avec les informations que nous rajoutons sur les interactions possibles. Ces nouvelles informations sont des étiquettes sur les transitions de diagnostiqueur : elles contiennent la liste des composants qui interagissent si la transition du diagnostiqueur est franchie. Ces interactions sont

déterminées en notant les interactions agissant sur la transition du diagnostiqueur et sur toutes les transitions non-observables de l'état source aboutissant à cette transition. Par exemple, en ce qui concerne la transition du diagnostiqueur étiquetée par P_3/o_{13} de l'état $x_{\Delta_1}(2)$ vers l'état $x_{\Delta_1}(1)$, il n'y a qu'une interaction possible : la réception de l'événement m_{21} du composant Γ_2 (événement de la transition entre l'état 2 et 3 dans $x_{\Delta_1}(2)$). Ainsi, on ajoute une étiquette contenant le fait qu'il y a une interaction possible avec le composant Γ_2 si la transition du diagnostiqueur est franchie.

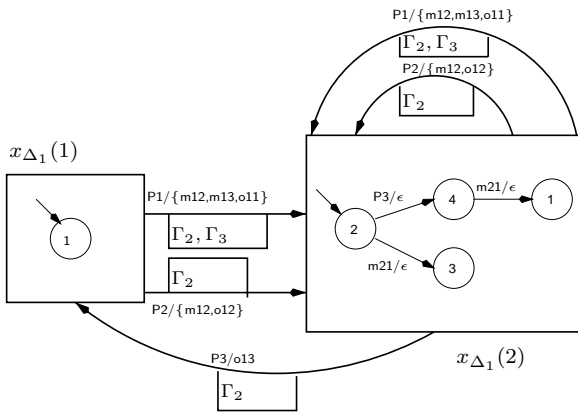


FIG. 11 – Diagnostiqueur local Δ_1 du composant Γ_1 étiquetés avec les interactions potentielles sur les transitions.

6.2.3 Calcul des interactions compatibles

La tâche du coordinateur est de prendre en compte en ligne des hypothèses sur les interactions que les diagnostics locaux effectuent. Ensuite, il doit fournir une stratégie en vue d'optimiser la coordination.

Les informations d'interactions reçues par le coordinateur sont toutes les interactions établies par chaque diagnostic local. Ces hypothèses d'interactions sont donc établies à partir d'un point de vue local. Le coordinateur doit donc prendre en compte toutes les hypothèses et éliminer celles qui sont incompatibles. Par exemple, il se peut qu'un diagnostiqueur Δ_i émette l'hypothèse d'une interaction entre les composants Γ_i et Γ_j alors que Δ_j n'émet aucune hypothèse entre ces deux composants. Dans ce cas, cela signifie que l'hypothèse proposée par Δ_i est incorrecte, il n'y a pas d'interactions entre

Γ_i et Γ_j . Le coordinateur ne va donc retenir que les hypothèses d'interactions vérifiant :

Si un diagnostic local $\Delta_i(x_i, \sigma_i)$ émet l'hypothèse qu'il y a interaction entre Γ_i et Γ_j , le coordinateur ne retient cette hypothèse que si $\Delta_j(x_j, \sigma_j)$ émet une hypothèse d'interaction identique.

Ainsi, le coordinateur ne conserve que les hypothèses d'interaction entre deux composants que si les diagnostiqueurs respectifs sont en accord sur cette interaction. À partir des interactions retenues, le coordinateur est alors en mesure de produire un plan de construction du diagnostic global.

6.2.4 Élimination directe d'hypothèses locales

Après avoir uniquement retenu les interactions de composants qui sont compatibles entre elles, le coordinateur est en mesure d'informer de leur erreur les diagnostiqueurs locaux ayant fourni des interactions incorrectes. Ce retour d'information au diagnostiqueur local permet d'éliminer du diagnostic local proposé toutes les hypothèses où il y a des interactions incompatibles. Cette élimination locale permet d'augmenter l'efficacité de la coordination des diagnostics. L'opération d'élimination de ces hypothèses (que nous noterons *Elim*) consiste à éliminer du diagnostic local toutes les transitions produisant des interactions incompatibles (cf. fig. 12). Après l'élimination des transitions, il se peut que certains états du diagnostic deviennent non accessibles à partir de l'état initial, ils sont donc également éliminés.

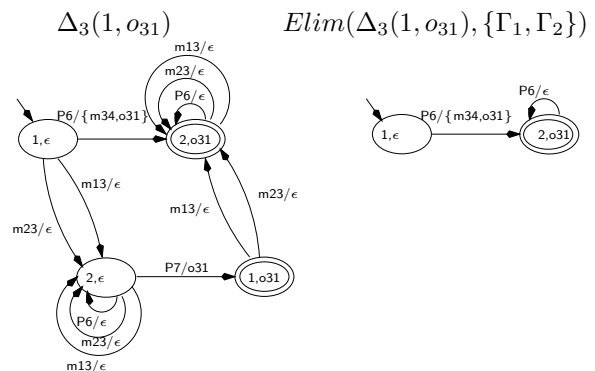


FIG. 12 – Diagnostic local $\Delta_3(1, o_{31})$ et le résultat de l'élimination si l'on considère que les interactions avec Γ_1 et Γ_2 sont incompatibles.

La figure 12 présente le diagnostic local $\Delta_3(1, o_{31})$ avant (à gauche) puis après l'élimination des hypothèses où l'on considère que les interactions avec Γ_1 et Γ_2 sont incompatibles (pas d'événements internes m_{12}, m_{21}, m_{23} dans les hypothèses retenues).

6.2.5 Coordination des diagnostics locaux

La coordination est décomposée en différentes étapes de composition entre les différents diagnostics locaux. Dans une première étape, le coordinateur choisit une partition de l'ensemble des diagnostics en s'appuyant sur les hypothèses d'interactions retenues. Ensuite, le coordinateur commande en parallèle la composition de chaque ensemble de la partition. Le résultat de cette composition est un ensemble plus petit de diagnostics plus globaux. Ce processus est réitéré jusqu'à ce que l'ensemble résultat ne soit constitué que d'un unique diagnostic : c'est le diagnostic global (voir l'algorithme 1).

Algorithme 1 Coordination des diagnostics locaux.

entrée : $\mathcal{D} = \{\Delta_1(x_1, \sigma_1), \dots, \Delta_n(x_n, \sigma_n)\}$
entrée : interactions entre les diagnostics locaux : \mathcal{I}
 $\mathcal{I} \leftarrow \text{ConserverInteractionsCompatibles}(\mathcal{I})$
 {(cf. section 6.2.3)}
 $\mathcal{D} \leftarrow \text{Elim}(\mathcal{D}, \mathcal{I})$
 {Élimination d'hypothèses sur les diagnostics de \mathcal{D} en fonction de \mathcal{I} (cf. section 6.2.4.)}
tant que $|\mathcal{D}| > 1$ **faire**
 $\pi_{\mathcal{D}} \leftarrow \text{UnePartitionAvecInteraction}(\mathcal{D}, \mathcal{I})$
 {Partition de \mathcal{D} selon les interactions de \mathcal{I} .}
 $\mathcal{D} \leftarrow \text{ComposeEnParallele}(\pi_{\mathcal{D}})$
 {Application de la composition sur les ensembles de la partition en parallèle.}
fin tant que
 Le résultat cherché $\Delta((x_1, \dots, x_n), \{\sigma_1, \dots, \sigma_n\})$
 est l'élément restant de \mathcal{D}

Fin

UnePartitionAvecInteraction(\mathcal{D}, \mathcal{I}) choisit une partition $\pi_{\mathcal{D}}$ de \mathcal{D} tel que chaque ensemble de la partition contient des diagnostics qui interagissent selon l'ensemble des interactions \mathcal{I} ⁴.

ComposeEnParallele($\pi_{\mathcal{D}}$) produit un nouvel ensemble de diagnostics. Chaque diagnostic est le résultat de la composition d'un ensemble de la partition $\pi_{\mathcal{D}}$. Ces compositions sont effectuées en parallèle afin d'augmenter l'efficacité du calcul.

7 Exemple

Soit le diagnostic $\Delta((1, 1, 1, 1), \{o_{12}, \epsilon, o_{31}, \epsilon\})$ (cf. fig. 3) à calculer sur le système présenté sur la figure 2. Les diagnostiqueurs locaux retournent les interactions suivantes :

- $\Delta_1(1, o_{12})$: interactions avec Γ_2 (cf. figure 4) ;
- $\Delta_2(1, \epsilon)$: interactions avec Γ_1 (cf. figure 10) ;
- $\Delta_3(1, o_{31})$: interactions avec Γ_1, Γ_2 et Γ_4 (cf. figure 12) ;
- $\Delta_4(1, \epsilon)$: interactions avec Γ_3 .

$\Delta_1(1, o_{12})$ et $\Delta_2(1, \epsilon)$ sont d'accord sur les hypothèses d'interactions ; le coordinateur retient donc l'interaction entre Γ_1 et Γ_2 :

$$\mathcal{I} \leftarrow \{(\Gamma_1, \Gamma_2)\}.$$

De même, $\Delta_3(1, o_{31})$ et $\Delta_4(1, \epsilon)$ sont d'accord sur les hypothèses d'interactions :

$$\mathcal{I} \leftarrow \mathcal{I} \cup \{(\Gamma_3, \Gamma_4)\}.$$

Le diagnostiqueur du composant Γ_3 émet des hypothèses d'interactions avec Γ_1 et Γ_2 qui sont incompatibles. Les hypothèses de $\Delta_3(1, o_{31})$ où il y a des interactions avec Γ_1 et Γ_2 peuvent donc être éliminées (cf. figure 12).

Le coordinateur peut désormais exécuter des compositions en parallèle. Étant donné \mathcal{I} , on peut considérer la partition suivante :

$$\{\{\Delta_1(1, o_{12}), \Delta_2(1, \epsilon)\}, \{\Delta_3(1, o_{31}), \Delta_4(1, \epsilon)\}\}.$$

4. Dans le cas où \mathcal{D} contient des diagnostics qui n'interagissent pas, on peut choisir une partition selon d'autres paramètres afin d'être efficace. Parmi d'autres, on peut considérer les paramètres suivants : le nombre de diagnostics dans un ensemble ou la taille des diagnostics.

La figure 13 décrit la stratégie utilisée par le coordinateur pour obtenir le diagnostic global.

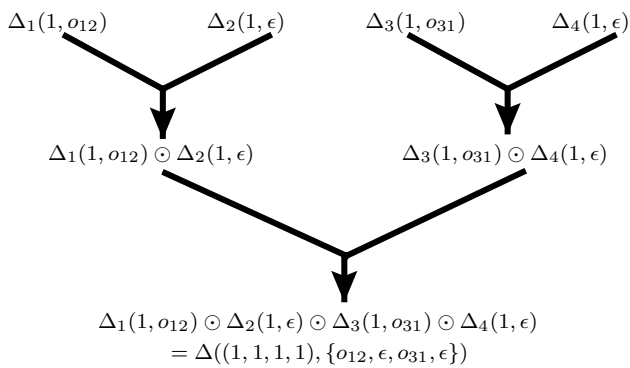


FIG. 13 – Stratégie de construction utilisée pour calculer $\Delta((1, 1, 1, 1), \{o_{12}, \epsilon, o_{31}, \epsilon\})$.

Enfin, nous présentons dans le tableau de la figure 14, différentes stratégies de reconstruction. On peut mesurer le calcul de la coordination par le nombre d'états et de transitions qui constituent les diagnostics intermédiaires. Nous présentons 3 types de stratégies : la première est celle utilisée par le coordinateur, la seconde est la même sans l'étape d'élimination et la troisième est l'utilisation de l'étape d'élimination mais avec un choix de partition différent. On peut voir que les stratégies 2 et 3 n'éliminent pas la majeure partie des hypothèses incompatibles entre les diagnostics à l'étape 1. Cette élimination s'effectue au cours de la deuxième étape.

8 Application

Nous avons déjà mis en œuvre le modèle décentralisé de notre application réseau à l'aide du logiciel *Dyp* que nous avons implanté. Chaque composant du modèle décrit le comportement d'un équipement du réseau (c.-à-d. commutateur, centre technique) en fonction du phénomène de masquage. Par conséquent, les composants décrivent uniquement des comportements locaux à un équipement. Le phénomène de masquage est modélisé à l'aide d'événements internes entre les composants. Par exemple, pour un événement *arret_CT* (arrêt du centre technique), le composant *CT* émet un événement masquant à ses composants

CM (commutateur). Une fois qu'un *CM* a reçu un tel événement, il n'émet plus d'événements observables jusqu'à ce qu'il reçoit un événement qui annihile le masquage. Nous présentons le diagnostiqueur associé à un composant *CT* sur la figure 15. Dans cet exemple, on suppose que le centre technique *CT* contrôle deux commutateurs qu'il peut masquer (*CM1* et *CM2*).

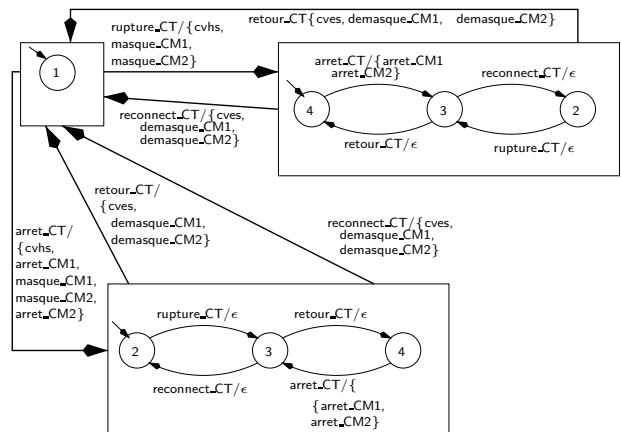


FIG. 15 – Diagnostiqueur local d'un centre technique. Les événements observables sur un tel composant sont *cvhs* et *cves*.

9 Conclusion

Nous avons présenté une méthode pour diagnostiquer de grands systèmes tels que les réseaux de télécommunication. Trois points ont été décrits en vue d'augmenter l'efficacité de la méthode. Le premier point est l'utilisation d'un modèle décentralisé du système (modèle à base d'automates communicants). Ce modèle permet sa mise en œuvre par opposition à celle d'un modèle global qui est irréalisable pour de grands systèmes. Le second point est la mise en place de diagnostiqueurs locaux. Il s'agit de structures qui produisent efficacement une information de diagnostic d'un point de vue local. Le dernier aspect est la mise en place d'une stratégie automatique de reconstruction qui optimise les calculs lors de la construction du diagnostic global.

	Stratégie 1	Stratégie 2	Stratégie 3
étape 1	$\Delta_1(1, o_{12}) \odot \Delta_2(1, \epsilon)$ 3 états, 4 transitions	$\Delta_1(1, o_{12}) \odot \Delta_2(1, \epsilon)$ 3 états, 4 transitions	$\Delta_1(1, o_{12}) \odot \Delta_4(1, \epsilon)$ 10 états, 20 transitions
	$\Delta_3(1, o_{31}) \odot \Delta_4(1, \epsilon)$ 3 états, 4 transitions	$\Delta_3(1, o_{31}) \odot \Delta_4(1, \epsilon)$ 5 états, 16 transitions	$\Delta_2(1, \epsilon) \odot \Delta_3(1, o_{31})$ 4 états, 10 transitions
étape 2	$\Delta_1(1, o_{12}) \odot \Delta_2(1, \epsilon) \odot \Delta_3(1, o_{31}) \odot \Delta_4(1, \epsilon)$ 9 états, 24 transitions		
Total	15 états, 32 transitions	17 états, 44 transitions	23 états, 54 transitions

FIG. 14 – Mesure de l'efficacité de la reconstruction pour 3 stratégies

Cette approche est en cours de mise en œuvre. Nous avons déjà réalisé un logiciel (*Dyp*) qui initialise un modèle décentralisé du système à partir d'un fichier de description du modèle. Nous sommes en train de mettre au point une version incrémentale de cette approche que nous expérimenterons sur notre application réseau.

Références

- [1] P. Baroni, G. Lamperti, P. Pogliano et M. Zanella. Diagnosis of large active systems. *Artificial Intelligence*, 110:135–183, 1999.
- [2] S. Bibas, M.-O. Cordier, P. Dague, F. Lévy et L. Rozé. Gaspar: a model-based system for diagnosing telecommunication networks. In *IMACS-IEEE/SMC International Multiconference of Computational Engineering in Systems Applications (CESA'96)*, Lille, 1996.
- [3] D. Brand et P. Zafiropulo. On communicating finite-state machines. *Journal of ACM*, 30(2):323–342, 1983.
- [4] R. Debouk, S. Lafortune et D. Teneketzis. A coordinated decentralized protocol for failure diagnosis of discrete event systems. In *Fourth Workshop on Discrete Event Systems (WODES'98)*, pages 138–143, Cagliari, Italy, 1998.
- [5] G. Lamperti et M. Zanella. Diagnosis of discrete-event systems integrating synchronous and asynchronous behavior. In *Proceedings of the International Workshop on Principles of Diagnosis (DX'99)*, pages 129–139, 1999.
- [6] L. Rozé. *Supervision de réseaux de télécommunication: une approche à base de modèles*. Thèse de doctorat en informatique, Ifsic/Université de Rennes 1, Irisa, Campus de Beaulieu, F-35042 Rennes Cedex, 1997.
- [7] L. Rozé. Supervision of telecommunication network : a diagnose approach. In *Proceedings of the International Workshop on Principles of Diagnosis (DX'97)*, pages 103–111, Mont St Michel, France, 1997.
- [8] M. Sampath, R. Sengupta, S. Lafortune, K. Sinnamohideen et D. Teneketzis. Diagnosability of discrete event system. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 40(9):1555–1575, 1995.