

DIAGNOSTIC DES SYSTÈMES DISTRIBUÉS PAR ANALYSE STRUCTURELLE

E. Chanthery, L. Travé-Massuyès, C. G. Pérèz,
J. Sotomayor, S. Indra

LAAS-CNRS, Université de Toulouse, CNRS, INSA, Toulouse, France
Engineering Department, Pontifical Catholic University of Peru, PUCP

elodie.chanthery@laas.fr

Slides largement inspirés de la soutenance de thèse de Carlos Gustavo Pérèz

« Distributed Fault Diagnosis using Structural Analysis Approach »

Motivations

- Omniprésence des systèmes technologiques dans les sociétés modernes
 - Les récents développements montrent
 - une complexification des systèmes
 - des systèmes de plus en plus grands
- Les exigences en matière de fiabilité, de disponibilité et de sécurité augmentent considérablement : les systèmes de détection et d'isolation de défauts (FDI) deviennent un problème majeur



Mrminibike, pixabay



Steve Jurvetson



NASA

Motivations

- Les systèmes sont interconnectés → difficile de les gérer de manière globale
 - Solution : les considérer comme un ensemble de sous-systèmes hétérogènes
- Développement de méthodes décentralisées ou distribuées
- Besoin de méthodes qui permettent la gestion de santé de ces systèmes souvent non linéaires

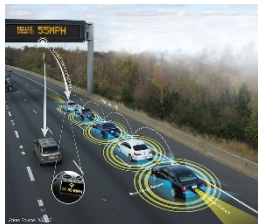
Solution envisagée : l'analyse structurelle



U.S. Govt Source



LoKan Sardari



U.S. Dept of Transportation

Objectif - Méthodologie

Objectif principal : développer des techniques de diagnostic décentralisé et distribué basées sur l'analyse structurelle pour détecter et isoler des fautes qui peuvent impacter la dynamique continue du système.

Hypothèse : Le système est décomposé en sous-systèmes déterminés par des *contraintes fonctionnelles, géographiques ou de confidentialité*

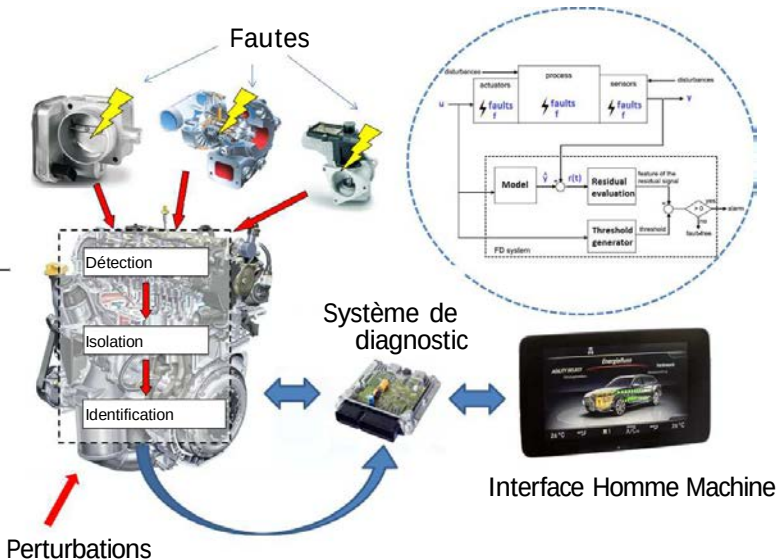
Méthodologie

- Utiliser l'analyse structurelle comme une solution pour générer des résidus efficaces dans les systèmes complexes
- Etendre les concepts en distribué
- Proposer des architectures pour développer des solutions de diagnostic en décentralisé et en distribué

Plan

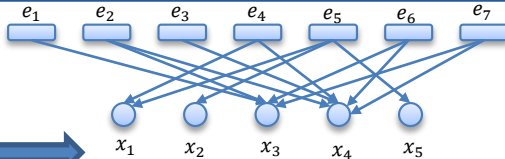
1. Introduction
2. Principes du diagnostic à base de modèles
3. L'approche structurelle comme solution pour générer des tests
4. Diagnostic de fautes décentralisé et distribué
5. Procédures opérationnelles
6. Cas d'étude
7. Conclusion et perspectives

Principe du diagnostic à base de modèles



La redondance analytique via l'analyse structurelle

Relations	Expressions
e_1	$\dot{x}_3 = \sqrt{x_3} - c$
e_2	$x_3^2 = bx_4 + f_1$
e_3	$z_1 = x_4$
e_4	$z_2 = x_1 + a^2 + x_4 + f_3$
e_5	$\dot{x}_1 = \sin(x_2) + x_5$
e_6	$\dot{x}_3 = x_4 + b + f_2$
e_7	$x_3 \cdot x_4 = d$



Représentation par graphe biparti

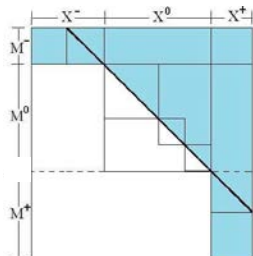
	Variables inconnues					v. connues		fautes		
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	z_1	z_2	f_1	f_2	f_3
e_1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
e_2	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0
e_3	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
e_4	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
e_5	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
e_6	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0
e_7	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0

Représentation structurelle par matrice d'adjacence

Décomposition de Dulmage-Mendelson

La matrice d'adjacence peut être décomposée en 3 sous-graphes avec des propriétés spécifiques :

- M^- : la partie structurellement sous-déterminée
- M^0 : la partie juste déterminée
- M^+ : la partie surdéterminée (plus d'équations que de variables)



Variables inconnues					
	x_5	x_2	x_1	x_3	x_4
e_5	1	1	1	0	0
e_4	0	0	1	0	1
e_1	0	0	0	1	0
e_2	0	0	0	1	1
e_3	0	0	0	0	1
e_6	0	0	0	1	1
e_7	0	0	0	1	1

Décomposition de DM de l'exemple

Génération de résidus

Rappel :

- **Relation de redondance analytique (RRA)** : une relation $f(z, \dot{z}, \ddot{z}, \dots) = 0$ est une RRA si pour tout z cohérent avec le système, elle est satisfaite.
- Les RRA peuvent être utilisées comme base des générateurs de résidus à des fins de diagnostic : $f(z, \dot{z}, \ddot{z}, \dots) = r$

Génération de résidus par approche structurale

Définition : ensembles PSO et MSO

Un ensemble d'équations Σ est structurellement surdéterminé propre (**PSO**) si $\Sigma = \Sigma^+$. C'est un ensemble **MSO** (minimally structurally overdetermined) si aucun sous-ensemble de Σ n'est un PSO [Krysander et al.,2010].

Ensemble PSO : $\Sigma = \Sigma^+$

Ensemble MSO

	Variables inconnues					v. connues		fautes		
	x_5	x_2	x_1	x_3	x_4	z_1	z_2	f_1	f_2	f_3
e_5	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
e_4	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1
e_1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
e_2	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0
e_3	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
e_6	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0
e_7	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0

Redondance structurelle

Définition: Redondance structurelle

La redondance structurelle $\rho_{\Sigma'}$, d'un ensemble d'équations $\Sigma' \subseteq \Sigma$ est définie comme la différence entre le nombre d'équations Σ' et le nombre de variables inconnues dans Σ' : $\rho_{\Sigma'} = |\Sigma'| - |X'_{\Sigma}|$

- La redondance structurelle d'un MSO est de 1
 - D'un MSO on peut identifier une redondance ... mais pas forcément un test de diagnostic !! Il faut que le MSO soit porteur d'au moins une faute
- La littérature se sert de la notion de support de fautes

Support de fautes et MTES

Définition : TES et MTES [Krysander et al.,2010]

Un ensemble d'équations est un **TES** s'il exprime une redondance spécifique à un ensemble de fautes (support de fautes). Un **MTES** (minimal TES) regroupe toutes les équations qui vont mener à des générateurs de résidus pour le même support de fautes.

$\{e_1, e_2, e_3, e_6, e_7\}$: TES de redondance structurelle 3, support de fautes : $\{f_1, f_2\}$

$\{e_1, e_3, e_6, e_7\}$: MTES de redondance structurelle 2, support de fautes : $\{f_2\}$

Inclut deux MSO :

$\{e_1, e_3, e_6\}, \{e_1, e_3, e_7\}$

	Variables inconnues					v. connues		fautes		
	x_5	x_2	x_1	x_3	x_4	z_1	z_2	f_1	f_2	f_3
e_5	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
e_4	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1
e_1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
e_2	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0
e_3	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
e_6	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0
e_7	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0

- Les tests générés par des MTES sont des tests de diagnostic puissants

cependant,

- Dans un cadre décentralisé/distribué où on souhaite optimiser (minimiser) le partage d'informations et le nombre de tests, on développe un autre concept : les ensembles FMSO

Ensembles FMSO

- Si on veut optimiser le nombre de tests à effectuer, les MTES ont peu d'intérêt → on définit des MSO porteurs de fautes

Définition : ensembles FMSO

Un ensemble d'équations Σ' est un ensemble **FMSO** si c'est un MSO et que son support de faute $F\varphi$ est non vide.

$$F\varphi \neq \emptyset \text{ et } \rho_\varphi = 1$$

$$(|\varphi| = |X_\varphi| + 1)$$

$\{e_1, e_3, e_6\}$: FMSO de
redondance structurelle 1,
support de fautes : $\{f_2\}$

	Variables inconnues					v. connues		fautes		
	x_5	x_2	x_1	x_3	x_4	z_1	z_2	f_1	f_2	f_3
e_5	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
e_4	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1
e_1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
e_2	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0
e_3	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
e_6	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0
e_7	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0

Ensembles CMSO

- On définit aussi les MSO dont le support de faute est vide $\rightarrow$ CMSO

Définition : ensembles CMSO

Un ensemble d'équations Σ' est un ensemble **CMSO** si c'est un MSO et que son support de faute $F\varphi$ est vide.

$$F\varphi = \emptyset \text{ et } \rho_\varphi = 1 \quad (|\varphi| = |X_\varphi| + 1)$$

$\{e_1, e_3, e_7\}$: CMSO de redondance structurelle 1, support de fautes : $\{\}$

	Variables inconnues					v. connues		fautes		
	x_5	x_2	x_1	x_3	x_4	z_1	z_2	f_1	f_2	f_3
e_5	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
e_4	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1
e_1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
e_2	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0
e_3	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
e_6	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0
e_7	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0

Propriétés pour le diagnostic

Définition : Faute détectable

Une faute f_i est **détectable** s'il existe un ensemble FMSO $\varphi \in \Phi$ tel que $f_i \in F_\varphi$

Définition : Fautes isolables

Deux fautes f_j et f_k sont **isolables** s'il existe un FMSO $\varphi \in \Phi$ tel que $f_j \in F_\varphi$ et $f_k \notin F_\varphi$

f_3 est non détectable car il n'existe pas de FMSO qui l'ait en support de fautes.

f_1 et f_2 sont détectables car $\{e_2, e_6, e_7\}$ est un FMSO.

f_1 et f_2 sont isolables car $\{e_3, e_6, e_7\}$ est un FMSO qui ne porte que f_2 .

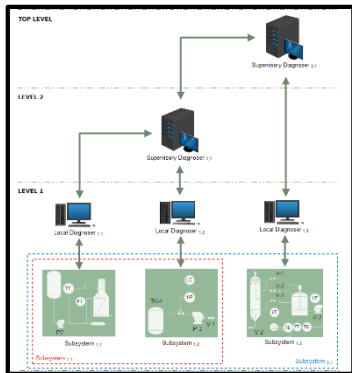
	Variables inconnues					v. connues		fautes		
	x_5	x_2	x_1	x_3	x_4	z_1	z_2	f_1	f_2	f_3
e_5	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
e_4	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1
e_1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
e_2	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0
e_3	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
e_6	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0
e_7	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0

Pour résumer...

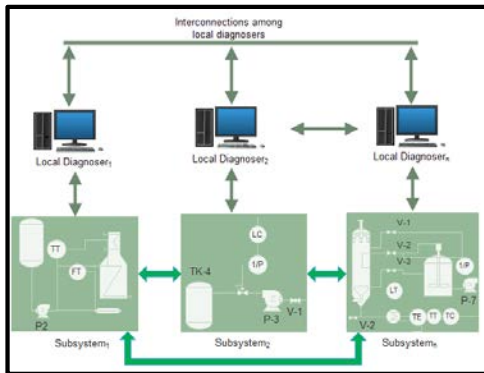
- L'analyse structurelle permet de déterminer la partie du système sur laquelle des tests de diagnostic (RRA ou observateurs) peuvent être générées
- Les FMSO sont un bon moyen pour se focaliser sur des fautes d'intérêt et construire un test

Approches décentralisées et distribuées

- Deux approches pour diviser le système en sous-systèmes Σ_i

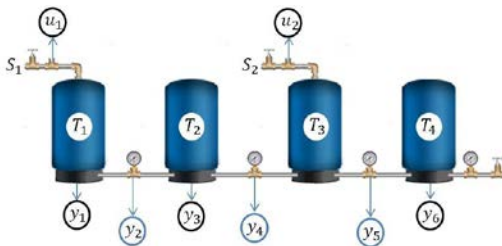


approche décentralisée



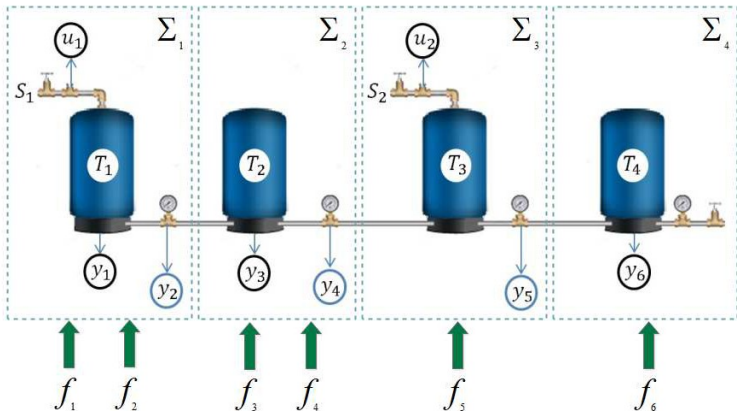
approche distribuée

Exemple illustratif : les 4 réservoirs



- Le modèle $\Sigma(z, x, f)$ est composé de 20 équations de e_1 à e_{20}
 - $Z = \{u_1, u_2, y_1, y_2, \dots, y_6\}$ les variables connues
 - $X = \{p_1, p_1, p_2, p_2, p_3, p_3, p_4, p_4, q_{in1}, q_{in2}, q_1, q_2, q_3, q_4\}$ les variables inconnues
 - $F = \{f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6\}$ les fautes du système

Décomposition en 4 sous-systèmes



Évidemment les sous-systèmes vont avoir des **variables partagées**

Modèles au niveau sous-système

Sous-système 1 : $\Sigma_1(z_1, x_1, F_1)$

$$\Sigma_1 = \{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6\}$$

$$X_1 = \{\dot{p}_1, p_1, \dot{p}_2, \mathbf{p}_2, q_{in1}, \mathbf{q}_1\}$$

$$Z_1 = \{u_1, y_1, y_2\}, F_1 = \{f_1, f_2\}$$

$$e_1: \dot{p}_1 = \frac{1}{C_{T_1} + \mathbf{f}_1} (q_{in1} - \mathbf{q}_1)$$

$$e_2: \mathbf{q}_1 = \frac{p_1 - \mathbf{p}_2}{R_{p_1} + \mathbf{f}_2}$$

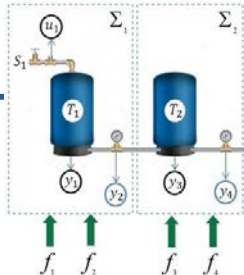
$$e_3: p_1 = \int \dot{p}_1 dt$$

$$e_4: q_{in1} = u_1$$

$$e_5: p_1 = y_1$$

$$e_6: \mathbf{q}_1 = y_2$$

Les variables q_1 et p_2 sont partagées entre Σ_1 et Σ_2



Sous-système 2 : $\Sigma_2(z_2, x_2, F_2)$

$$\Sigma_2 = \{e_7, e_8, e_9, e_{10}, e_{11}\}$$

$$X_2 = \{\dot{p}_2, \mathbf{p}_2, p_3, \mathbf{q}_1, q_2\}$$

$$Z_1 = \{y_3, y_4\}, F_2 = \{f_3, f_4\}$$

$$e_7: \dot{p}_2 = \frac{1}{C_{T_2} + \mathbf{f}_3} (\mathbf{q}_1 - q_2)$$

$$e_8: q_2 = \frac{\mathbf{p}_2 - p_3}{R_{p_2} + \mathbf{f}_4}$$

$$e_9: \mathbf{p}_2 = \int \dot{p}_2 dt$$

$$e_{10}: \mathbf{p}_2 = y_3$$

$$e_{11}: q_2 = y_4$$

Adaptation des concepts

Les décompositions vont mener à la définition de **sous-systèmes** Σ_i

Le concept de FMSO est adapté.

Définition : Ensemble FMSO local de Σ_i

FMSO dont toutes les variables inconnues peuvent s'éliminer localement dans le sous-système Σ_i

Sous-système 1 : $\Sigma_1(z_1, x_1, F_1)$

$$\Sigma_1 = \{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6\}$$

$$X_1 = \{\dot{p}_1, p_1, \dot{p}_2, \mathbf{p}_2, q_{in1}, \mathbf{q}_1\}$$

$$Z_1 = \{u_1, y_1, y_2\}, F_1 = \{f_1, f_2\}$$

$$e_1: \dot{p}_1 = \frac{1}{C_{T_1} + \mathbf{f}_1} (q_{in1} - \mathbf{q}_1)$$

$$e_2: \mathbf{q}_1 = \frac{p_1 - \mathbf{p}_2}{R_{P_1} + \mathbf{f}_2}$$

$$e_3: p_1 = \int \dot{p}_1 dt$$

$$e_4: q_{in1} = u_1$$

$$e_5: p_1 = y_1$$

$$e_6: \mathbf{q}_1 = y_2$$

L'ensemble d'équations

$\varphi_4 = \{e_1, e_3, e_4, e_5, e_6\}$ est un FMSO (support f_1).

C'est un FMSO local de Σ_1 car toutes les variables sont locales et q_1 peut s'éliminer localement.

Adaptation des concepts

Définition : Ensemble FMSO partagé de Σ_i

Un ensemble d'équations φ est un ensemble FMSO partagé si, en considérant les variables partagées comme connues, l'ensemble φ est un FMSO de Σ_i

Sous-système 1 : $\Sigma_1(z_1, x_1, F_1)$

$$\Sigma_1 = \{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6\}$$

$$X_1 = \{\dot{p}_1, p_1, \dot{p}_2, p_2, q_{in_1}, q_1\}$$

$$Z_1 = \{u_1, y_1, y_2\}, F_1 = \{f_1, f_2\}$$

$$e_1: \dot{p}_1 = \frac{1}{C_{T_1} + f_1} (q_{in_1} - q_1)$$

$$e_2: q_1 = \frac{p_1 - p_2}{R_{P_1} + f_2}$$

$$e_3: p_1 = \int \dot{p}_1 dt$$

$$e_4: q_{in_1} = u_1$$

$$e_5: p_1 = y_1$$

$$e_6: q_1 = y_2$$

Si on considère les variables partagées comme connues, alors l'ensemble d'équations $\varphi_1 = \{e_2, e_5\}$ est un FMSO (support f_2).

C'est un FMSO partagé de Σ_1 .

Définition : Ensemble FMSO complété

Un ensemble d'équations φ du système global est un ensemble FMSO complété s'il inclut au moins un FMSO partagé

Sous-système 1 : $\Sigma_1(z_1, x_1, F_1)$

$$\Sigma_1 = \{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6\}$$

$$X_1 = \{\dot{p}_1, p_1, \dot{p}_2, p_2, q_{in1}, q_1\}$$

$$Z_1 = \{u_1, y_1, y_2\}, F_1 = \{f_1, f_2\}$$

$$e_1: \dot{p}_1 = \frac{1}{C_{T_1} + f_1} (q_{in1} - q_1)$$

$$e_2: q_1 = \frac{p_1 - p_2}{R_{p_1} + f_2}$$

$$e_3: p_1 = \int \dot{p}_1 dt$$

$$e_4: q_{in1} = u_1$$

$$e_5: p_1 = y_1$$

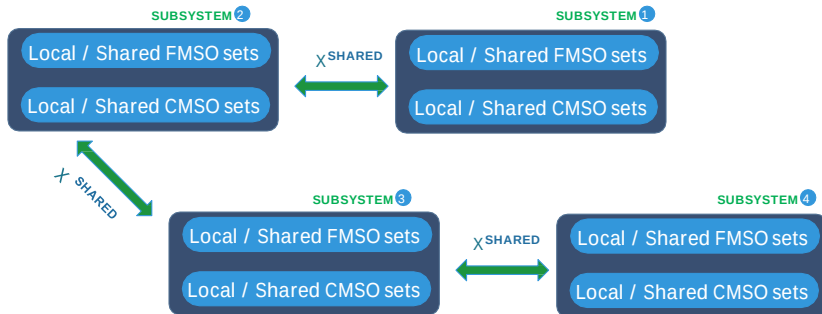
$$e_6: q_1 = y_2$$

L'ensemble d'équations $\varphi_9 = \{e_2, e_5, e_6, e_{10}\}$ est un FMSO au niveau global (support f_2).

C'est un FMSO complété car il contient le FMSO partagé φ_1 .

Décomposition

- Ces définitions s'appliquent également sur les CMSO (MSO sans support de faute).
- La décomposition permet d'organiser le système comme suit :



Propriétés d'équivalence

RRA

Les ensembles de RRA dérivés d'une architecture globale ou d'une architecture décentralisée sont identiques

MTES

Les MTES calculés de manière centralisée et les MTES calculés de manière décentralisée mènent au même ensemble de RRA

FMSO

L'ensemble des FMSO globaux peut être obtenu à partir des FMSO calculés localement, en formant des FMSO complétés avec des FMSO partagés et des CMSO partagés (approche distribuée)

Implémentation

■ Approche décentralisée

- **Hors-ligne** : conception des diagnostiqueurs → si des fautes sont non détectables ou isolables à un niveau, un diagnostiqueur de niveau plus haut est développé
- Optimisation locale du choix des FMSO locaux (par Programmation Linéaire)
- **En ligne** : isolation à la demande → le niveau supérieur n'est utilisé que si la faute n'est pas localement isolable



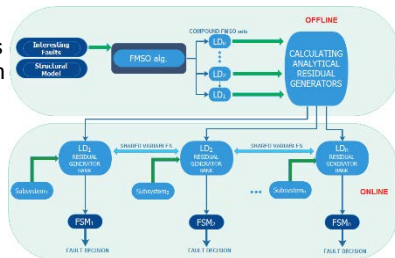
[Indra *et al.* 2011, Pérez *et al.* 2015, Chantry *et al.* 2016b]

■ Approche distribuée

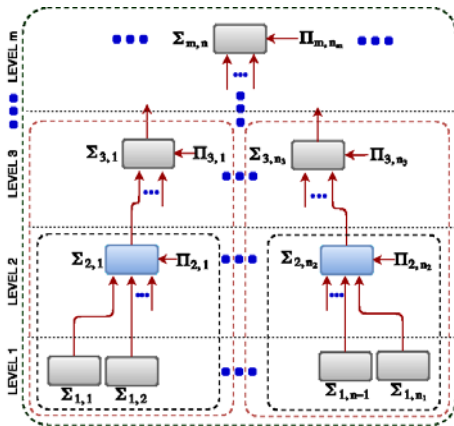
- Génération distribuée de tous les FMSO globaux → maintien de la confidentialité locale
- Génération distribuée d'un sous-ensemble de FMSO globaux



[Pérez *et al.* 2016, Pérez *et al.* 2017]



Approche décentralisée



- La décomposition du système Σ en plusieurs sous-systèmes $\Sigma_{j,i}$ est une organisation hiérarchique
- $\Sigma_{j,i}$ représente le $i^{\text{ème}}$ sous-système du $j^{\text{ème}}$ niveau, avec $j = 1 \dots m; i = 1 \dots n_j$
- Les équations contenues dans l'ensemble $\Pi_{i,j}$ sont seulement disponibles au niveau j à cause de contraintes spécifiques



Procédure opérationnelle pour la conception d'un diagnostiqueur décentralisé

Given : $\Sigma_{j,i}(z_{j,i}, x_{j,i}, f_{j,i}) | j = 1, \dots, m, i = 1, \dots, n_j$

1: $n_0 = 1, E_{0,1} = \emptyset$ $\triangleleft$ Init part

2: **for** j from 1 to m **do** $\triangleleft$ Main part

3: $\Delta_{j,i} \leftarrow$ Compute subsystems corresponding to level $j-1$
that have links to subsystem i at level j ;

4: **for** i from 1 to n_j **do**

5: $\Pi_{j,i} \leftarrow$ Load additional equations for $\Sigma_{j,i}$;

6: $\Sigma_{j,i} = \Pi_{j,i} \cup (\cup_{i \in \Delta_{j,i}} E_{j-1,i})$;

7: $\Phi_{j,i}^l \leftarrow$ Compute local FMSO sets of $\Sigma_{j,i}$;

8: Execute an optimal selection of computed FMSO sets by solving a BILP problem

$\triangleleft$ Compute ARR for $\Sigma_{j,i}$ from selected FMSO sets

9: $ARR_{j,i} \leftarrow$ Compute analytical residual generators of

10: **if** there is any fault $f \in F_{j,i}$ not detectable or not isolable with the ARR computed so far then

11: $\Phi_{j,i}^s \leftarrow$ Compute shared FMSO sets of $\Sigma_{j,i}$;

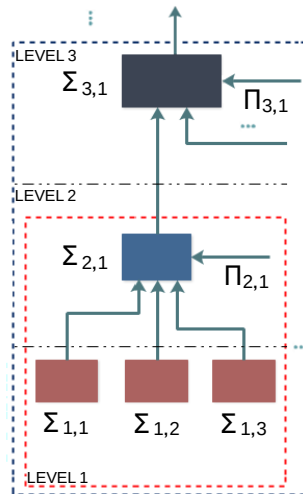
12: $\Psi_{j,i}^s \leftarrow$ Compute shared CMSO sets of $\Sigma_{j,i}$;

13: $E_{j,i} = \{e \in \Sigma, e \in \Phi_{j,i}^s \cup \Psi_{j,i}^s\}$

14: **end if**

15: **end for**

16: **end for**



Résultat : un ensemble de RRA réparties dans la hiérarchie de sous-systèmes (correspondant à des FMSO locaux aux différents sous-systèmes), qui garantie une isolabilité maximale

Focus sur le problème d'optimisation en nombres entiers

L'objectif est de *maximiser* l'isolabilité tout en *minimisant* le nombre de FMSO locaux $\Phi_{j,i}^l$. On met une pondération α entre les deux critères.

Deux variables booléennes :

z_{φ_i} , à 1 si le FMSO φ_i est sélectionné (0 sinon)

$f_{\varphi_i,kl}$ à 1 si la faute f_k est isolable de la faute f_l en utilisant φ_i (0 sinon)

$$\max(m \sum_{(f_k, f_l)} e_{kl} - (m-1) \sum_{\varphi_i \in \Phi_{i,j}^l} z_{\varphi_i})$$

Fonction
objectif

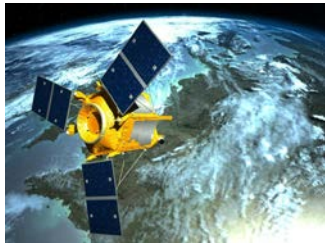
Sous $\sum_{\varphi_i \in \Phi_{i,j}^l} f_{\varphi_i,kl} z_{\varphi_i} \geq e_{kl}$

Contrainte pour garantir
l'isolabilité entre 2 fautes

$z_{\varphi_i} \in \{0,1\}$ pour $\varphi_i \in \Phi_{i,j}^l$, $(f_k, f_l) \in F_{i,j}^2$ et $m \in [0,1]$

Application à un Système de Contrôle d'Attitude pour un satellite basse altitude

- L'approche décentralisée a été testée sur un système de commande d'attitude et d'orbite (SCAO) d'un satellite en orbite terrestre basse (LEO).

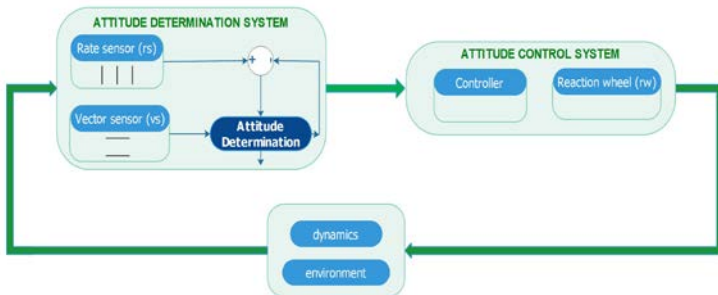


SPOT 6, AIRBUS Defence & Space

- LEO: Low Earth Orbit, entre 160 - 2000 km, vit. aprox= 7.8 km/s
- Satellites d'observation de la terre : suivi environnemental, météorologie construction de cartes ... Ex: Astrosat-300, SPOT 6/7

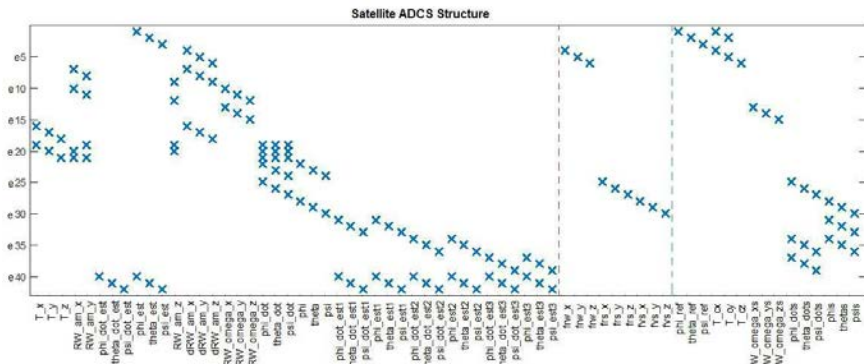
Composition du SCAO

- Le SCAO est composé :
 - d'un sous-système de détermination d'attitude (ADS) composé de capteurs qui récupèrent la vitesse et la position angulaire
 - et d'un système de contrôle d'attitude

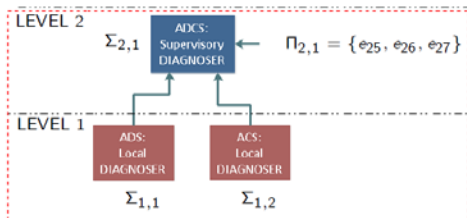


Modèle structurel

- Le modèle structurel est composé de 42 équations avec 42 variables inconnues, 15 variables observées et 9 fautes



Décomposition pour un diagnostic décentralisé



$$\begin{aligned}
 \text{ACS} = \Sigma_{1,1} &= \begin{cases} \Sigma_{1,1} = \{e_1, e_2, e_3, e_4 \dots e_{18}\} \\ F_{1,1} = \{f_{rw_x}, f_{rw_y}, f_{rw_z}\} \\ X_{1,1} = \{T_x, T_y, T_z, RW_{am_x}, RW_{am_y}, RW_{am_z}, dRW_{am_x}, dRW_{am_y}, \\ dRW_{am_z}, RW_{\omega_x}, RW_{\omega_y}, RW_{\omega_z}\} \\ Z_{1,1} = \{\phi_{ref}, \theta_{ref}, \psi_{ref}, T_{cx}, T_{cy}, T_{cz}, W_{\omega_{xs}}, W_{\omega_{ys}}, W_{\omega_{zs}}\} \end{cases} \\
 \text{ADS} = \Sigma_{1,2} &= \begin{cases} \Sigma_{1,2} = \{e_{22}, e_{23}, e_{24}, e_{25}, e_{26}, e_{27}, e_{38} \dots e_{42}\} \\ F_{1,2} = \{f_{vs_x}, f_{vs_y}, f_{vs_z}, f_{rs_x}, f_{rs_y}, f_{rs_z}\} \\ X_{1,2} = \{T_x, T_y, T_z, RW_{am_x}, RW_{am_y}, RW_{am_z}, \dot{\psi}_{est}, \dot{\theta}_{est}, \dot{\phi}_{est}, \psi_{est}, \\ \theta_{est}, \phi_{est}, \dot{\psi}, \dot{\theta}, \dot{\phi}, \psi, \theta, \phi, \dot{\psi}_{est1}, \dot{\theta}_{est1}, \dot{\phi}_{est1}, \psi_{est1}, \theta_{est1}, \\ \phi_{est1}, \dot{\psi}_{est2}, \dot{\theta}_{est2}, \dot{\phi}_{est2}, \psi_{est2}, \theta_{est2}, \phi_{est2}, \dot{\psi}_{est3}, \dot{\theta}_{est3}, \dot{\phi}_{est3}, \\ \psi_{est3}, \theta_{est3}, \phi_{est3}\} \\ Z_{1,2} = \{\dot{\psi}_s, \dot{\theta}_s, \dot{\phi}_s, \psi_s, \theta_s, \phi_s\} \end{cases}
 \end{aligned}$$

Résultats

- 2448 FMSO au niveau global
- 5 FMSO proposés pour le diagnostiqueur décentralisé

	Faults								
	f_{rwz}	f_{rwy}	f_{rwx}	f_{vsx}	f_{vsy}	f_{vsz}	f_{rsx}	f_{rsy}	f_{rsz}
$arr_1 \in ARR_{1,1}$	X								
$arr_2 \in ARR_{1,1}$		X							
$arr_4 \in ARR_{2,1}$						X			X
$arr_5 \in ARR_{2,1}$					X			X	
$arr_6 \in ARR_{2,1}$				X	X				X

Approche distribuée

- Génération distribuée de l'ensemble des FMSO globaux

```
1:  $\Phi = \emptyset$ ;  
2: for  $i=1...n$  do  
3:    $\Phi_i^l \leftarrow$  Calculate local FMSO sets of  $\Sigma_i$ ;  
4:    $\Phi_i^s \leftarrow$  Calculate shared FMSO sets of  $\Sigma_i$ ;  
5:    $\Lambda_i^s \leftarrow$  Calculate shared CMSO sets of  $\Sigma_i$ ;  
6:    $\Phi_i^s \leftarrow$  For each shared FMSO set  $\varphi \in \Phi_i^s$ , do
```

L'avantage de cet algorithme est de ne pas recalculer les FMSO pour tous les sous-systèmes voisins, tout en gardant la garantie de diagnosticabilité maximale

→ même qualité de diagnostic en maintenant la confidentialité de chaque modèle local, ce qui est un apport industriel indéniable.

```
12:     Store the global FMSO set  $\varphi$ ;  
13:      $\Phi \leftarrow \Phi \cup \varphi^c$ ;  
14:   end while  
15: end for  
16:    $\Phi \leftarrow \Phi \cup \Phi_i^l$ ;  
17: end for  
18: Return  $\Phi$ ;
```

On complète tous les
FMSO shared

Génération de diagnostiqueurs locaux en distribué

```
1: for i=1...n do
2:    $\Phi_i = \emptyset$ ;
3:    $\Phi_i^l \leftarrow$  Calculate local FMSO sets of  $\Sigma_i$ ;
4:   if there is any fault  $f \in F_i$  not locally detectable
5:     or not locally isolable with the set of local
6:     FMSO sets  $\Phi_i^l$  then
7:      $\Phi_i^s \leftarrow$  Calculate shared FMSO sets of  $\Sigma_i$ ;
```

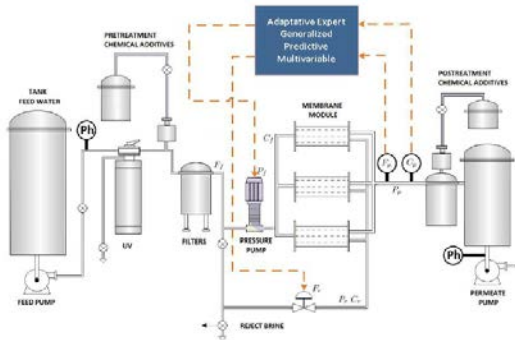
L'avantage de cet algorithme est de ne maintenir qu'un nombre réduit de tests sur un système complexe, tout en gardant la confidentialité de chaque modèle local lors de l'élaboration des diagnostiqueurs. Le nombre de FMSO choisis pour les tests est au maximum égal au nombre de fautes sur le système.

```
15:   Let  $X_{\varphi_r}$  be the set of shared variables of  $\varphi_r$ ;
16:    $\Phi_i^{c*} \leftarrow$  Find a 'good' compound FMSO set
17:   including  $\varphi^*$  by always selecting the 'best'
18:   shared FMSO sets to cover newly introduced  $X_{\varphi_r}^s$ 
19:    $\Phi_i \leftarrow \Phi_i \cup \Phi_i^{c*}$ ;
20:    $\Phi_i^{l*} \leftarrow$  Find a minimal cardinality set of local
21:   FMSO sets achieving the same diagnosability
22:   as all local FMSO sets;
23:    $\Phi_i \leftarrow \Phi_i \cup \Phi_i^{l*}$ ;
24: end while
25: end for
```

utile et non
isolable/déetectable
localement

Application sur un système industriel de dessalement par osmose inverse

- 3 sous-systèmes
- 25 équations
- 7 fautes



- 5173 FMSO globaux ont été trouvés de manière distribuée
- 7 FMSO partagés sont choisis et donnent lieu à 7 FMSO complétés permettant de garantir la diagnosticabilité maximale

Conclusion

- On a montré que l'analyse structurelle était un moyen efficace pour générer des tests de diagnostic dans un cadre décentralisé et distribué
- La notion de FMSO est utilisée pour construire des tests
- Un algorithme de diagnostic en décentralisé a été proposé. Il a été appliqué sur le SCAO d'un satellite orbite basse
- Deux procédures ont été proposées dans le cas distribué. Un système de dessalement par osmose inverse a servi de cas d'étude.

Les algorithmes sont codés en matlab et sont disponibles sur demande

- **Autre point de vue**: décomposer de manière optimale le système en sous-systèmes
- Utiliser d'autres méthodes (comme la programmation entière) pour résoudre le problème de sélection de tests en décentralisé et en distribué
- Etendre les travaux aux systèmes hybrides

Bibliographie

- E. Chanthery, L. Travé-Massuyès et S. Indra. *Fault isolation on request based on decentralized residual generation*. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, vol. 46, no. 5, pages 598–610, 2016 [lien](#)
- C. G. Pérez, L. Travé-Massuyès, E. Chanthery et J. Sotomayor. *Decentralized diagnosis in a spacecraft attitude determination and control system*. In Journal of Physics: Conference Series, volume 659-1. IOP Publishing, 2015 [lien](#)
- C. G. Pérez, E. Chanthery, L. Travé-Massuyès et J. Sotomayor. *Fault-Driven Minimal Structurally Overdetermined Set in a Distributed Context*. In the 27th International Workshop on Principles of Diagnosis: DX-2016, 2016 [lien](#)
- C. G. Pérez, L. Travé-Massuyès, E. Chanthery et J. Sotomayor. *Fault-Driven Structural Diagnosis Approach in a Distributed Context*. In IFAC World Congress, page 1, 2017 [lien](#)
- C Pérez-Zuñiga, Elodie Chanthery, L Travé-Massuyès, J Sotomayor, C Artigues. Decentralized Diagnosis via Structural Analysis and Integer Programming. *10th IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety for Technical Processes, SAFEPROCESS 2018*, Aug 2018, Varsovie, Poland. [lien](#)
- Carlos Gustavo Perez Zuniga. Structural analysis for the diagnosis of distributed systems. Automatic. INSA de Toulouse, 2017. PHD report – [lien](#)