

TIGER-SHEBA: DIAGNÒSTIC BASAT EN MODELS DE TURBINES A GAS

Grup Investigador:

Joseba Quevedo*¹, Louise Travé-Massuyès**¹, Teresa Escobet*¹ i Sebastian Tornil*¹

* *Professors* del Departament d'Enginyeria de Sistemes, Automàtica i Informàtica Industrial. Universitat Politècnica de Catalunya.

** *Directeur de Recherche del CNRS*, membre del Grup *Diagnostic, Supervision et Conduite Qualitatifs*'' del LAAS-CNRS de Toulouse (França) que ha dirigit del 1994 al 2000, i va ser professora visitant al dep. ESAIL de la UPC l'any 1998.

¹Membres del Laboratori Europeu Associat: Sistemes Intel·ligents - Control Avançat (LEA-SICA del DURSI i CNRS)

Índex

1. Introducció	2
2. Descripció dels objectius plantejats	4
3. Resultats obtinguts	7
4. Rellevància científica	8
4.1. Reutilització dels models d'una turbina a una altra	8
4.1.1. Obtenció del model operacional	8
4.1.2. Identificació i sintonia de models	10
4.2. Estudi d'aïllament	10
5. Rellevància tecnicoeconomicosocial	11
6. Procedència dels fons de finançament del projecte	12
7. Continuitat del treball	13
8. Llista de publicacions	14
8.1. Llibres	14
8.2. Revistes científiques	15
8.3. Premis	15
8.5. Tesis doctorals	16
8.6. Congressos internacionals	16
8.7. Rapports	19

1 Introducció

Des de l'any 1992 aquest grup està involucrat en una sèrie de projectes de recerca aplicada que tracten en profunditat la problemàtica del diagnòstic en temps real de turbines a gas (figura 1).

Actualment és de gran importància, la recerca de nous sistemes de supervisió de processos, que permetin de forma fiable i ràpida detectar possibles anomalies de les turbines a gas, diagnosticar i trobar l'origen de les possibles anomalies i avaluar la importància i la gravetat de les situacions creades, per tal de corregir situacions de perill (més **seguretat de funcionament**) i per tal de minimitzar els temps d'espera en el manteniment i reparació dels components defectuosos (**estalvi econòmic** per reducció del temps de manteniment i reparació).

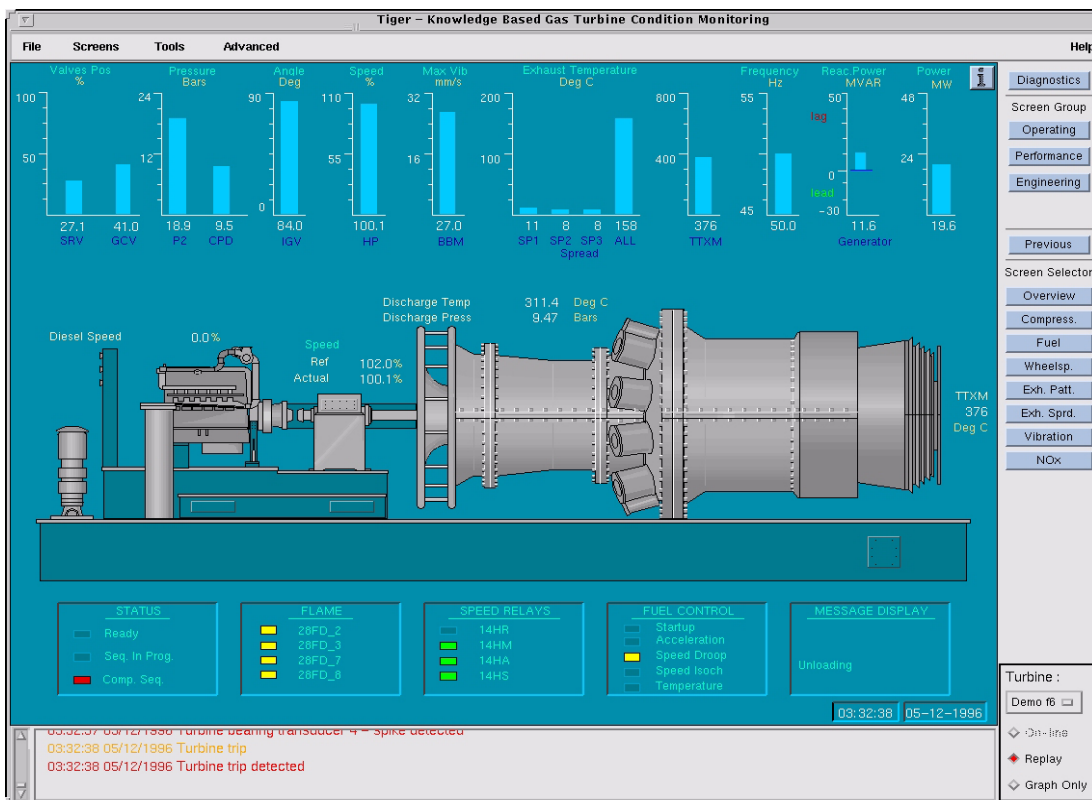


Figura 1. Sistema de diagnòstic de la turbina a gas

El primer projecte de recerca europeu ESPRIT n° 6862 "Real-Time Situation Assessment of Dynamic, Hard To Measure Systems" va permetre entre els anys 1992 i 1995 dissenyar un sistema per la monitorització i supervisió de turbines a gas que posteriorment la companyia escocesa *Intelligent Applications Limited* va desenvolupar com producte (TIGER) i va comercialitzar a tot el món (existeixen més de 20 llicències en Gran Bretanya, Dinamarca, Turquia, USA, Kenya, ...). Un darrer projecte europeu ESPRIT Trial Application: 27548 TIGER-SHEBA Model Based Diagnosis iniciat el mes de març de 1998 i finalitzat el març del 2000, ha culminat amb èxit l'incorporació

d'una metodologia anomenada CA~EN, que permet el diagnòstic basat en models qualitius de turbines a gas i donar un valor afegit al producte TIGER.

El disseny de TIGER, la metodologia de CA~EN i la seva integració en TIGER-SHEBA han permès d'una part crear les bases d'un producte innovador per la supervisió i diagnòstic de falles de turbines a gas que funciona 24 sobre 24 hores en la turbina a gas de la planta de cogeneració (figura 2) de National Power PLC de Aylesford (Gran Bretanya) i d'altre part, ha possibilitat la difusió científica de les idees desenvolupades en múltiples congressos internacionals i en revistes científiques de prestigi amb la consecució d'alguns premis com millors articles i també obtenint-se un premi com un dels 25 millors projectes europeus ESPRIT.



Figura 2. Foto de la planta de cogeneració de National Power en Aylesford (Gran Bretanya)

2 Descripció dels objectius plantejats

Les turbines de gas son l'element fonamental de les indústries generadores d'energia. Actualment, es construeixen noves plantes d'energia amb relativa rapidesa i econòmiques. Els usuaris necessiten que en aquest mercat de l'energia, cada dia més competitiu, una sèrie de requeriments:

- Les turbines de gas han de funcionar de forma continuada en períodes llargs de temps i amb la mínima intervenció dels operadors.
- El cost derivat de falles i problemes de manteniment ha de ser petit.
- Cal que puguin ser supervisades per operaris poc preparats i poc especialitzats i controlades de forma remota, ja que aquestes plantes s'instal·len en una gran diversitat de països.

Per aconseguir aquests requeriments cal un sistema que incrementi la disponibilitat de la planta per evitar temps d'aturada, així com falles del sistema no planificades o en el cas de que es doni una falla, minimitzar el temps en la aturada del sistema. L'objectiu és dotar-la d'un bon mètode de monitorització. Les característiques que ha de tenir el sistema de monitorització son:

- Observar contínuament les condicions de treball de la turbina de gas.
- Detectar el més aviat possible el desenvolupament d'una falla o problemes.
- I, quan s'ha detectat un problema, fer el més aviat i acurat possible el diagnòstic (causa)

Perquè el sistema supervisor faci un bon diagnòstic, es necessari un coneixement detallat de com treballa una turbina de gas i com una falla es manifesta, per aquest motiu caldrà l'aportació dels experts.

El principal requeriment del sistema supervisor és el de detectar els problemes en l'etapa inicial i poder actuar abans de que la falla no sigui catastròfica per la turbina. Si es dona una falla inesperada, cal que ràpidament s'indiqui el component o la part del procés on hi ha el problema, d'aquesta manera es pot retornar ràpidament a produir energia. Un altre factor a considerar és que l'eficiència de la màquina sigui òptima, en terme mig una màquina consumeix 1.5 milions de dòlars USA en gas cada mes, per tant una caiguda de l'eficiència de 1 a 2% pot representar un cost molt car.

El sistema de monitorització TIGER-SHEBA ha estat desenvolupat per cobrir aquests requeriments. Rep de l'ordre de 600 mesures del controlador de la turbina de gas a un interval de 1 segon i realitza en aquest temps la detecció i el diagnòstic de falles.

En principi el sistema de monitorització incorporava un sistema basat en regles per a la detecció de les falles més un sistema de diagnòstic basat en la combinació de regles temporals i abstracció jeràrquica. Aquesta metodologia comporta que tot ha de estar pre-programat i per tant, qualsevol nova situació que no hagi estat estudiada "a priori" i definida mitjançant una regla serà una situació desconeguda i impossible de diagnosticar. Per aquesta raó s'ha volgut incorporar una metodologia més avançada (anomenada segona generació de sistemes basats en coneixement) en el diagnòstic de turbines, fent ús de models representatius del comportament de la turbina per obtenir les discrepàncies conegudes i desconegudes entre el sistema real i el model.

La figura 3 representa una de les parts importants d'una turbina a gas, en concret es tracta del subsistema d'alimentació de gas fuel que és injectat a la cambra de combustió. I la figura 4 representa el model d'una part d'aquest subsistema, en concret el relatiu a la vàlvula GCV.

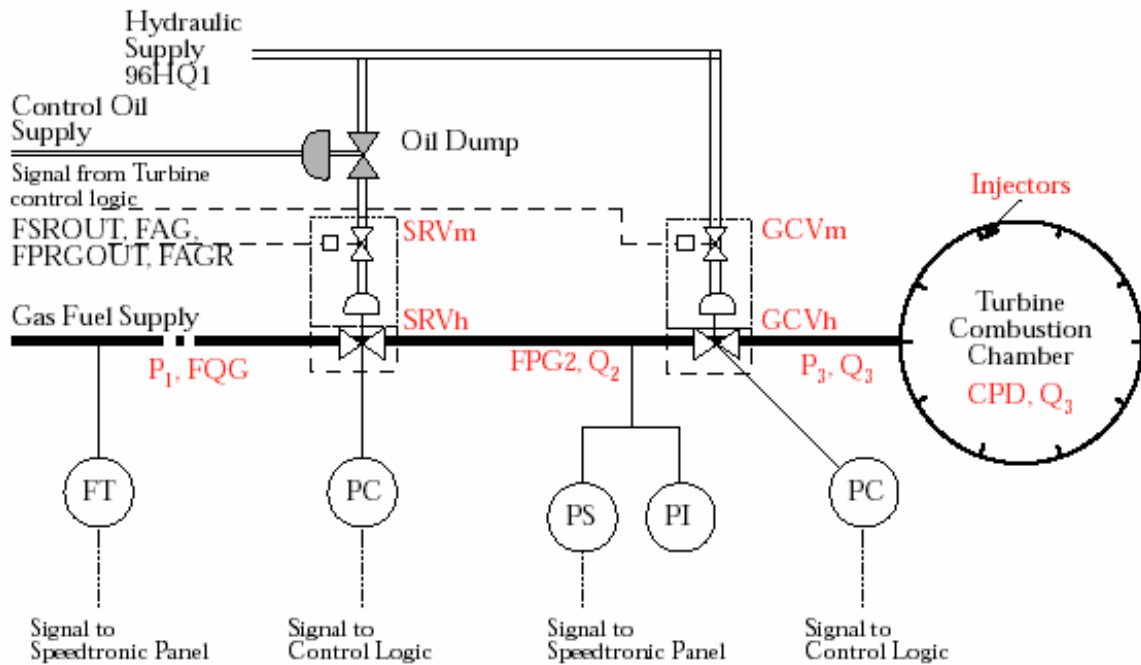


Figura 3. Diagrama del subsistema de gas fuel

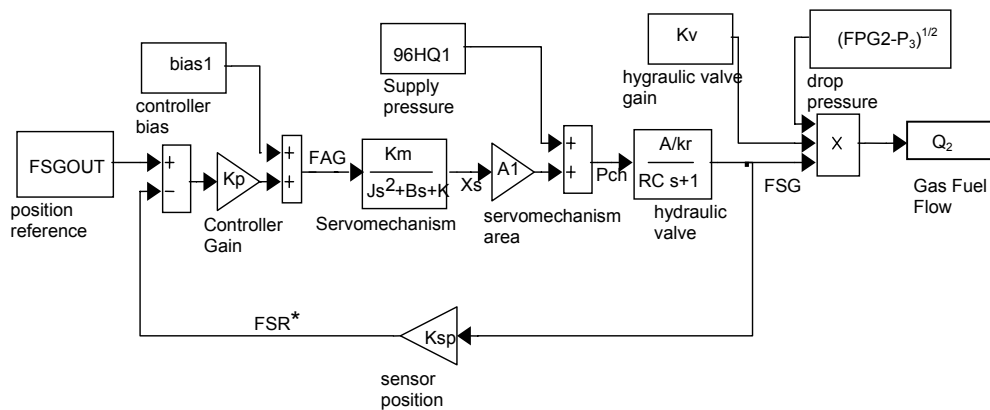


Figura 4. Model de la vàlvula GCV del subsistema de gas fuel

El sistema TIGER-SHEBA incorpora els models per a la detecció i diagnòstic de falles, de forma que es compara en tot moment els senyals proporcionats pels sensors amb les variables dels models generant lo que es denomina residus o discrepàncies entre el sistema real i els models (figura 5).

Si la turbina funciona correctament i els models són representatius de la turbina els residus són pràcticament nuls i si en canvi, es produeix un mal funcionament de la turbina es detecta a partir dels residus que seran diferents de zero.

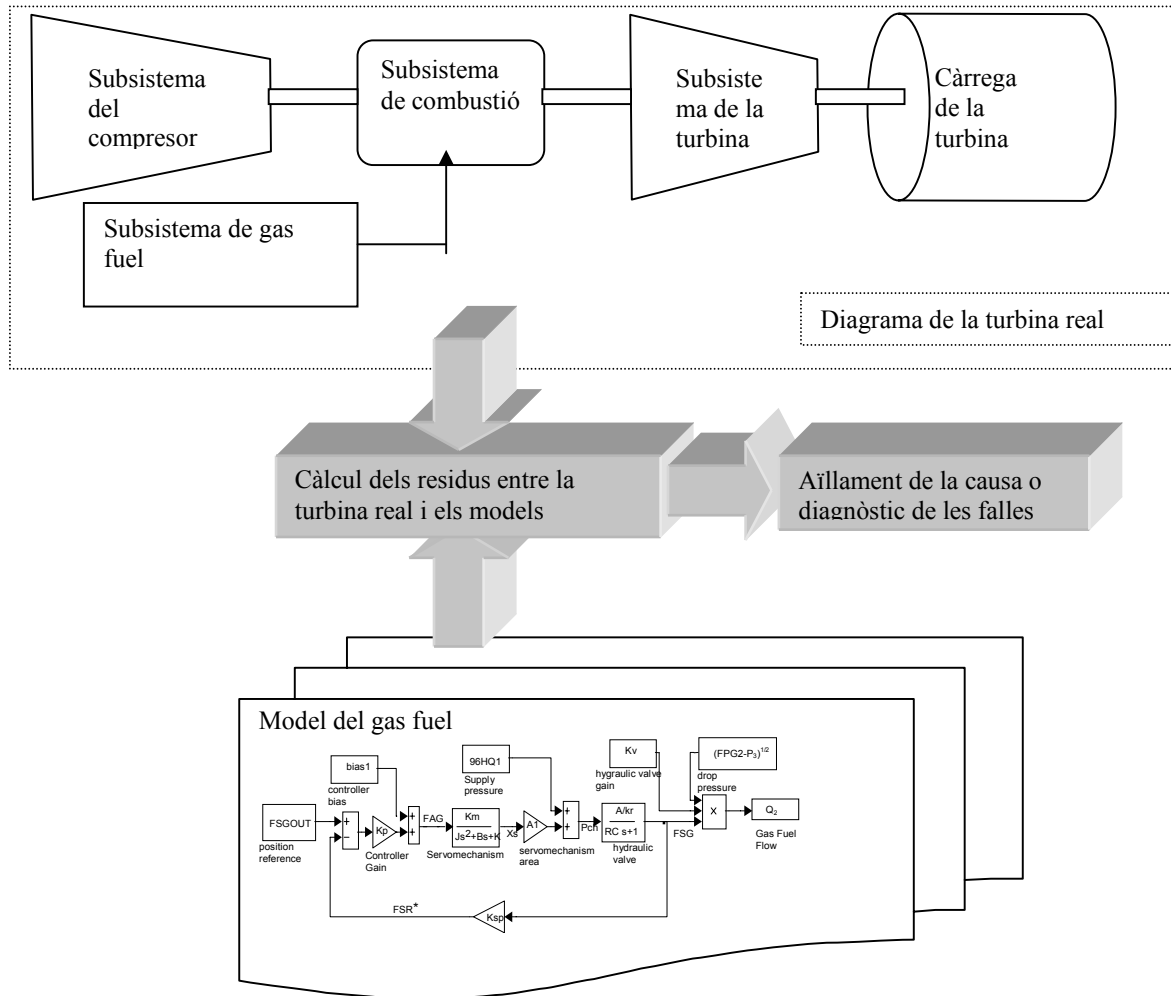


Figura 5. Comparació entre el comportament del sistema real i els models

L'objectiu principal del projecte ha sigut la incorporació de models qualitius intervalars basats en la metodologia Ca~En. Aquest combina la capacitat de la detecció de falles basada en models, que prediu el valor de les variables de sortida, amb mecanismes d'aïllament de falles basades en models.

La detecció i diagnòstic de falles basada en models ha sigut utilitzat en subsistemes crítics de la turbina de gas tal com el alimentador de combustible líquid i gas. La figura 6 mostra l'esquema de l'aïllament de falles del sistema de subministrament de combustible líquid. El mòdul d'aïllament de Ca~En genera missatges de diagnòstic els quals es mostren en la finestra de diagnosi del TIGER.

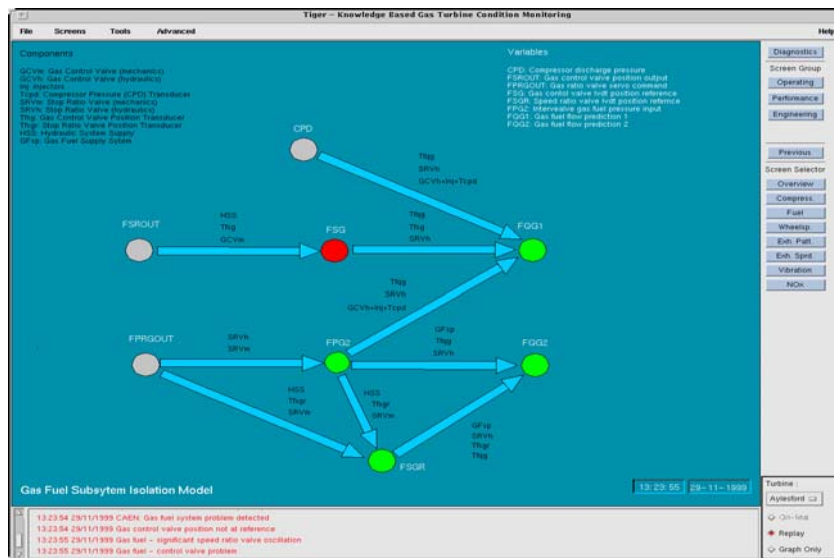


Figura 4. Model d'aïllament del subsistema d'alimentació de gas

3 Resultats obtinguts

TIGER-SHEBA produeix uns resultats molt significatius ja que permet actuar com un supervisor expert de turbines a gas cada segon, 24 hores al dia, 365 dies al any. Molts operadors responsables de la supervisió de turbines a gas analitzen regularment el funcionament de les seves turbines tractant d'assegurar que les variables més importants estiguin a dins d'uns certs límits i observant que les seves evolucions temporals estiguin d'acord amb uns patrons de funcionament normal. TIGER-SHEBA realitza aquesta tasca automàticament en temps real detectant problemes abans de que arribin a ser uns problemes significatius, la qual cosa suposa un canvi radical de com l'empresa pot monitoritzar la seva turbina i proporciona un sistema de control de la turbina molt més ràpid i precís.

TIGER-SHEBA també permet mostrar les tendències a curt i llarg termini dels paràmetres claus de la turbina a gas, la qual cosa facilita el seu manteniment predictiu. Quan es produeix un incident, el sistema captura les variables més importants i permet a l'enginyer analitzar el problema observant l'evolució històrica d'aquestes variables i ajuda a saber si els actuadors han reaccionat correctament davant d'una acció de control, o si el sistema de king-kong ha regulat el sistema davant d'una pertorbació o si els transductors que afecten al control del sistema han proporcionat les mesures de les variables controlades.

La utilització d'una metodologia d'un diagnosi basat en models qualitius, fent ús de la metodologia del Ca~En, ha permès obtenir uns resultats molt més interessants que amb metodologies convencionals de sistemes experts, ja que aquests models contenen de forma compacta totes les respostes possibles del funcionament correcte de la turbina, sense necessitat d'explicitar una per una totes les respostes possibles. Aquesta forma d'emmagatzemar la informació de la turbina, en base a models qualitius, és també una solució molt més compacta i simplifica el treball d'adquisició del coneixement per part dels experts.

4 Rellevància científica

La rellevància científica d'aquest treball està fonamentalment centrada en la metodologia desenvolupada per la detecció i el diagnòstic basat en models qualitius de turbines a gas, més que en l'aplicació particular a la turbina de gas de l'empresa National Power Cogen de Aylesford. Aquesta metodologia s'ha presentat en múltiples congressos i revistes científiques tal com es recull en el llistat de publicacions i en la còpia de les tres publicacions més rellevants.

La metodologia desenvolupada s'emmarca en les següents estudis:

- Reutilització dels models d'una turbina a un altre

- S'ha proposat una metodologia per a la generació automàtica dels models de detecció i isolació a partir de models genèrics orientats a components.
- S'ha desenvolupat una metodologia per a la identificació i sintonia de paràmetres de model destinat a la detecció.

- Estudi d'aïllament, s'ha desenvolupat una metodologia per avaluar el nivell d'aïllament o el grau de diagnosticabilitat del procés estudiat

4.1 Reutilització dels models d'una turbina a un altre

4.1.1 Obtenció del model operacional

Els models que poden ser utilitzats de forma efectiva per el diagnòstic els anomenem *models operacionals*, aquests models tenen una gran dependència dels sensors de que disposa una turbina i aquests poden variar d'una turbina a un altre.

La metodologia que s'ha proposat, examina com determinar, per una turbina donada, l'estructura del model operacional i els components associats a cada relació. Aquest s'obté a partir d'una estructura del model orientada a components que és única i genèric. Aquest fet fa que els algorismes utilitzats en l'aplicació puguin ser fàcilment emprats en diferents turbines. El formalisme per a l'obtenció d'aquests models operacionals ha sigut recentment publicada (Travé-Massuyès, L., et al, 2001).

L'avantatge que té l'aplicació desenvolupada és que el model emprat per a la detecció i el model emprat per a la isolació no ha de ser necessàriament el mateix. Aquest fet comporta que a nivell d'isolació pugui avaluar-se l'estat de les variables lògiques que intervenen en el sistema, fet que no es dona en el cas de models de detecció en que les variables avaluades han de ser analògiques, obtenint-se per tant millors resultats en el diagnòstic.

Una aportació a ressaltar en el camp dels models per a la detecció, és que aquests treballen amb paràmetres intervalars (Tornil, S et al, 2000). En l'aplicació realitzada, cap dels paràmetre implicats en les relacions primàries, obtingudes a partir de models orientats a components, son coneguts, es a dir el seu valor no es conegut per l'operari. Per tant, totes les relacions que poden ser emprades per a la detecció de falles cal estimar el valor dels seus paràmetres a partir de les dades, això comporta que totes les variables que apareixen en les relacions han de ser o be mesurades o be considerades constants.

El model operacional, que treballa amb temps real amb el sistema real, compara els resultats de simulació amb els reals (figura 7), i en el cas de que el valor real estigui fora de l'envolvent generada, es un indicador de que el sistema no funciona correctament.

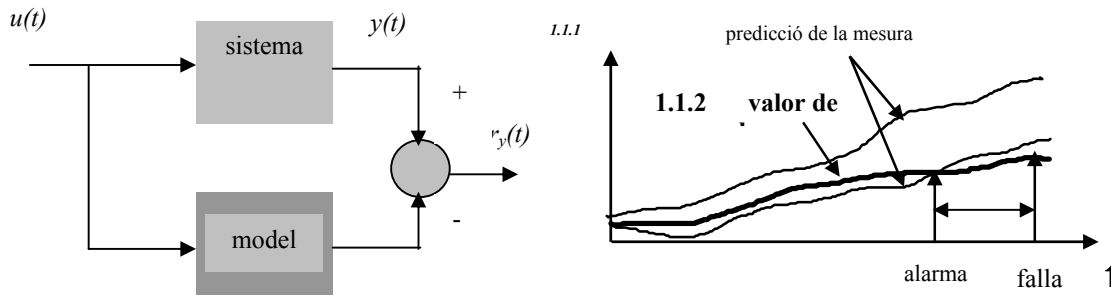


Figura 7. Utilització del model operacional

Les alarmes generades tant per model de detecció com per sistema expert que inclou TIGER, son entrades del model d'isolació el qual permet diagnosticar falles en la turbina.

La figura 8 mostra com es visualitza al operari una falla en l'injecció del vapor de la turbina.

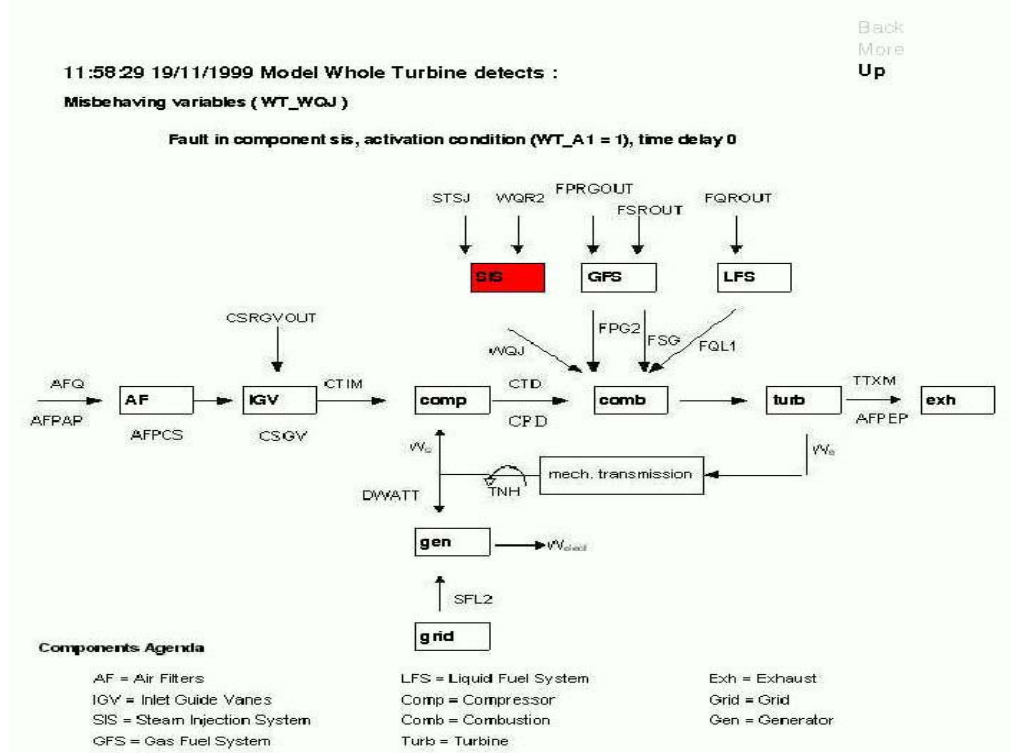


Figura 8. Falla en el component d'injecció de vapor

4.1.2 Identificació i sintonia de models

La metodologia que s'ha proposat per a obtenir els models operacionals consta de dues parts: la identificació de l'estructura del model i la sintonia dels paràmetres.

Identificació de models

La primera etapa a realitzar en un model es determinar la seva estructura matemàtica: lineal, no lineal, ordre, retard, S'han implementat una sèrie d'algorismes per a determinar-ho. La contribució a destacar en aquest camp és la de incloure models no lineals per especificar el comportament de les vàlvules.

Sintonia

Un cop determinada l'estructura del model cal estimar el valor dels seus paràmetres. Com ja s'ha indicat prèviament, els valors dels paràmetres en que s'ha treballat són intervalars. La contribució a destacar en aquest camp és la seva estimació (Escobet T. et al, 1999). Les etapes de que consta l'algorisme realitzat són: estimació dels paràmetres i la seva validació.

4.2 Estudi d'aïllament

L'estudi d'aïllament té per objectius:

- Determinar el grau de diagnosticabilitat que té el sistema, donat el conjunt de sensors de que disposa
- Determinar quin és el mínim nombre de sensors que cal afegir per garantir un grau d'aïllament especificat.

La principal idea es analitzar el model físic des del punt de vista estructural i a partir d'ell determinar relacions redundants.

La nostra contribució en aquest camp ha sigut la de deduir les relacions potencialment redundants resultat de l'addició de sensors. Tots els possibles sensors són examinats des del punt de vista teòric construïm el que s'anomena *Hypothetical Fault Signature Matrix*. Aquesta matriu fa la correspondència entre els sensors addicionals, les relacions redundants i els components del sistema que poden incidir en cada relació. Aquesta matriu s'expandeix considerant tots els sensors addicionals, construint el que s'anomena *Extended Hypothetical Fault Signature Matrix* que conté tota la informació necessària per realitzar l'estudi d'aïllament. La metodologia ha estat publicada recentment (Travé-Massuyès L. et al, 2001).

5 Rellevància tècnic/econòmica/social

Actualment, el sistema TIGER està funcionant en 20 turbines de 4 continents. La majoria d'aquestes turbines s'utilitzen en la generació d'energia i disposen d'uns sistemes de cogeneració de vapor, els quals són utilitzats per generar electricitat. Un cas típic de turbina a gas que utilitza el TIGER com sistema de monitorització i diagnòstic de falles és la General Electric Frame 6 que genera 40 MWatt d'electricitat. En moltes plantes, el vapor també és utilitzat com matèria útil per un procés industrial, com és el cas de la fabricació de paper.

TIGER s'utilitza actualment en 4 plataformes del Mar del Nord, les quals proporcionen generació de potència per les mateixes plataformes de les principals companyies de petroli. En pràcticament la meitat de les aplicacions que actualment funcionen amb TIGER es pot accedir remotament des de un despatx de monitorització central a Escòcia i es possible analitzar diàriament cada turbina i proporcionar un informe remot sobre el seu diagnòstic. TIGER està sent utilitzat, entre altres, per les següents empreses: National Power, Powergen, Exxon Chemical, British Petroleum, Chevron, Oryx i Kvaerner Energy.

Els utilitzadors de TIGER es poden classificar en dos grups:

- Els operadors que supervisen la planta i que poden consultar a TIGER quan es produeix qualsevol desviació i observar els missatges i alarmes que produeix el sistema. Generalment, els operadors no tenen un coneixement exhaustiu de la turbina a gas i només estan formats en la problemàtica de falles que cal actuar immediatament.
- Els responsables del funcionament de la turbina a gas que necessiten conèixer de TIGER sobre noves situacions d'anomalia en la turbina o situacions complexes. El rang de problemes detectats i diagnosticats per TIGER té un major interès per aquest tipus d'usuari.

En les localitzacions on no hi ha enginyers "in situ", el sistema TIGER està essent monitoritzat de forma remota pel equip tècnic de la seu en Escòcia. Aquesta forma d'actuar via remota permet estalviar molts diners en temps i viatges, especialment en les plataformes de petroli.

En les més de 20 localitzacions actuals, TIGER ha ajudat a identificar i diagnosticar més de 700 incidents, representant 200 categories diferents de fallades. Degut al alt valor econòmic de les turbines a gas i del seu cost econòmic, TIGER proporciona uns guanys econòmics considerables, que fins al moment han estat valorat en més de 150.000 dòlars USA per la majoria de les localitzacions existents.

Des de el punt de vista social i de la seguretat en el treball , TIGER és una eina potent que permet alertar i informar al operador de les possibles situacions de perill en que es pot trobar les turbines a gas en el seu continu i llarg funcionament.

6 Procedència dels fons de financiació del projecte

El projecte TIGER-SHEBA es va iniciar el any 1998 i va finalitzar l'any passat 2000 i va ser subvencionat per la Unió Europea dins del programa ESPRIT Technology Transfer for Software Technologies TRIAL APPLICATION ref. n° 27548 amb una financiació global per part de l'UE de 497 mil ECU, dels quals 180 mil ECU van ser pel treball realitzat conjuntament pel LAAS de Toulouse i el nostre grup de la UPC. En concret la part retribuïda a la UPC va ser de 112.443 ECU durant aquests anys.

Tanmateix el sistema TIGER ha tingut diverses fases de disseny, que comencen l'any 1992 amb un projecte ESPRIT de 3 anys subvencionat per la Unió Europea amb pràcticament 1000 K ECU i en el que ja vam participar tant el nostre grup de la UPC com el grup de Louise Travé-Massuyès del LAAS, posteriorment l'empresa Intelligent Applications Limited d'Escòcia va fer un esforç molt important per comercialitzar aquest sistema i finalment vam rebre la financiació de la UE ja esmentada, dins del projecte TIGER-SHEBA per implementar el sistema diagnosi basat en models qualitius seguint la metodologia CaEn (figura 7).

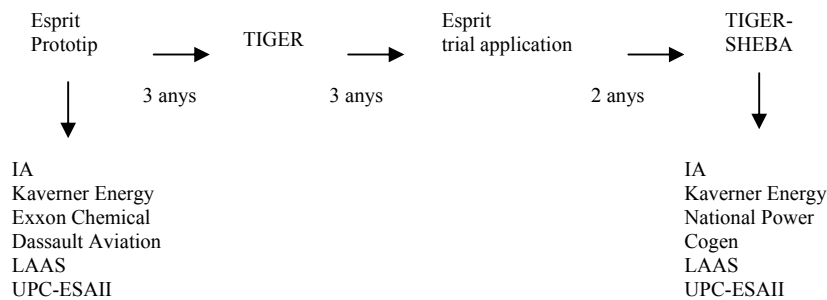


Figura 7. Evolució històrica del projecte TIGER i TIGER-SHEBA.

7 Continuitat del treball

Des de el punt de vist científic, continuem treballant en la millora i extensió d'aquesta metodologia que tracta d'utilitzar models per la detecció i diagnòstic de turbines a gas i altres processos industrials.

En particular, el professor associat Sebastian Tornil Sin està fent una tesi que tracta aquesta problemàtica i té com co-directors de la tesi a Teresa Escobet i Louise Travé-Massuyès. També hem enviat ponències sobre la continuïtat d'aquest treball a congressos internacionals, com per exemple dos treballs al XV IFAC World Congress que es celebrarà en el mes de juliol del 2002 a Barcelona i que properament ens informaren sobre la seva acceptació provisional.

D'altre part, des de el mes de juliol del any 2000 participem en un nou projecte de 3 anys de la Unió Europea anomenat Research Training Network DAMADICS ref. n° HPRN-CT-2000-00110 que tracta d'aplicar tècniques avançades de detecció i diagnòstic a una fàbrica de producció de sucre de Lubin a Polònia. En aquest projecte participen 7 reconeguts grups universitaris europeus de Hull (UK), Genova (IT), Hamburg (AL), Lisboa (PT), Varsòvia (PO), Zielona-Gora (PO) i el nostre grup de la UPC i tenim previst, aplicar la metodologia emprada en el TIGER-SHEBA al cas de la fabrica de producció de sucre de Lubin.

I per últim des de el punt de vista científic, estem iniciant la sol·licitud d'un altre projecte del mateix tipus que el precedent (Research Training Network) relacionat amb la detecció i diagnòstic de turbines a gas amb la participació d'altres grups universitaris de Gran Bretanya, Alemanya, França i Itàlia.

Des de el punt de vista econòmic, l'empresa Intelligent Applications Limited després d'una pugna entre GEE i Sermatech ha esta comprada per aquesta ultima i continua amb èxit comercialitzant els sistemes de supervisió i monitorització TIGER en l'extens mercat mundial de les turbines a gas, incorporant la metodologia Ca~En del diagnòstic basat en models.

8 Llista de publicacions

8.1 LLibres

R. Milne, L. Travé-Massuyès, Real-Time Model Based Diagnosis of Gas Turbines in « *Artificial Intelligence in the Petroleum Industry* », edited by B. Braunschweig and R. Day Editions Technip, Paris, pp. 197-214, 1995.

L. Travé-Massuyès, P. Dague, F. Guerrin (Eds), *Le Raisonnement Qualitatif pour les Sciences de l'Ingénieur*, Editions Hermès, Paris, 1997.

8.2 Revistes Científiques

L. Travé-Massuyès, K. Bousson, J.M. Evrard, F. Guerrin, B. Lucas,, A. Missier, M. Tomasena, L. Zimmer, Non-Causal vs. Causal Qualitative Modelling and Simulation, *Intelligent Systems Engineering Journal*, 2, n°3, 1993.

R. Milne, C. Nicol, M. Ghallab, L. Travé-Massuyès, K. Bousson, C. Dousson, J. Quevedo, J. Aguilar-Martin, A. Guash, TIGER : real-time situation assessment of dynamic systems, *Intelligent Systems Engineering Journal*, 3/3, 1994.

L. Travé-Massuyès, R. Milne, Application-oriented qualitative reasoning, *The Knowledge Engineering Review*, 10/2, 1995.

L. Travé-Massuyès, R. Milne,, Diagnosis of Dynamic Systems based on Explicit and Implicit Behavioural Models : An application to Gas Turbines in Esprit Project TIGER, *Applied Artificial Intelligence Journal*, 10/3, 1996.

R. Milne, C. Nicol, L. Travé-Massuyès, J. Quevedo, TIGER : Knowledge based Gas Turbine Condition Monitoring, *AI Communications Journal*, 9/3, 1996.

L. Travé-Massuyès, R. Milne, TIGERTM: Gas turbine condition monitoring using qualitative model based diagnosis, *IEEE Expert Intelligent Systems & Applications*, May-June 1997.

S. Cauvin, M.O. Cordier, D. Dousson, G. Deflandre, P. Laborie, F. Levy, Y. Montmain, M. Porcheron, I. Servet, L. Travé-Massuyès, Monitoring and alarm interpretation in industrial environments, *AI Communications Journal*, Vol. 11, n° 3/4, 139-173, IOS Press, 1998, ISSN 0921-7126.

J. Armengol, L. Travé-Massuyès, J. Vehi, J.Ll. de la Rosa, A survey on interval model simulators and their properties related to fault detection. *Annual Reviews in Control*, vol. 24, No. 1. ISSN: 1367-5788. Elsevier Science. Oxford, UK., 2000.

J. Armengol, J. Vehi, L. Travé-Massuyès, M.A. Sainz, Application of modal intervals to the generation of error-bounded envelopes. *Reliable Computing. Vol 7., n. 2*, pp. 171-185. ISSN : 1385-3139. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 2001.

R. Milne, C. Nilcol , L. Travé-Massuyès, TIGER with model based diagnosis: initial deployment, *Knowledge-Based Systems 14(2001)*, 213-222.

L. Travé-Massuyès, T. Escobet, R. Pons, S. Tornil, The Ca-En diagnosis system and its automatic modelling method, *Computacion i Sistemas Journal*, to appear.

8.3 Premis

Award of the Best Application Paper :

R. Milne, C. Nicol, L. Travé-Massuyès, J. Quevedo, TIGER : Knowledge based Gas Turbine Condition Monitoring, *Expert Systems Conference*, Cambridge, UK, 1995,

Best Paper Award from the Specialist Group on Knowledge-Based Systems and Applied Artificial Intelligence (SGES) :

R. Milne, C. Nicol, L. Travé-Massuyès, Tiger with Model Based Diagnosis: Initial Deployment, In: *Applications an Innovations in Intelligent Systems VIII, Ann Macintosh and Mike Moulton and Frans Coenen (eds), pp. 181-196*, ISBN 1-85233-402-9, Springer-Verlag, London, Proceedings of ES 2000, Cambridge, England, December 2000.

Premi donat per la Comunitat Europea al projecte TIGER :



8.4 Tesis

Doctorand: KOUAMANA BOUSSON

Directora de la Tesi: Louise Travé-Massuyès

Titol de la tesi: “Raisonnement Causal pour la supervision de Processus basée sur des Modèles”

Thèse de l'INSA de Toulouse, France, 25 Juin 1993.

Doctorand: TERESA ESCOBET

Director de Tesi: Joseba Quevedo

Tesi: “Aportación a la identificación paramétrica de sistemas dinámicos”
Tesi de la UPC, Barcelona, 1997.

Doctorand: VICENÇ PUIG

Directors de Tesi: Joseba Quevedo i Jordi Saludes

Tesi: “Aportación a la Generación de Umbrales Adaptativos”
Tesi de la UPC, Barcelona, 1999.

Doctorand: JOAQUIM ARMENGOL

Directora de tesi: Louise Travé i Josep Vehí

Tesi: “Application of Modal Interval Analysis to the simulation of the behaviour of dynamic systems with uncertain parameters”

Tesi de la UdG, Girona, 2000.

Doctorand: RENAUD PONS

Directora de Tesi: Louise Travé-Massuyès

Tesi: “Diagnostic à base de modèles et maintenance des systèmes dynamiques variant dans le temps”, Thèse de l’UPS de Toulouse, France, 15 Dec 2000.

8.5 Congressos Internacionals

R. Milne, L. Travé-Massuyès, Real Time Model Based Diagnosis of Gas Turbines, *AIENG’93 Int. Conf.*, Toulouse, France, 1993.

R. Milne, L. Travé-Massuyès, Application Oriented Qualitative Reasoning, *QR’93 Workshop*, Orcas Island, (WA), USA, 1993.

] K. Bousson, L. Travé-Massuyès, J. Aguilar-Martin, Causal Qualitative Representation of Dynamical Systems, *European Control Conference ECC’93*, Groningen, The Netherlands, 1993.

K. Bousson, L. Travé-Massuyès, Putting more Numbers in the Qualitative Simulator CA-EN, *Int. Conf., on Intelligent Systems Engineering*, Hamburg-Harburg, Germany, 62-69, 1994.

K. Bousson, L. Zimmer, L. Travé-Massuyès, Causal Model-Based Diagnosis of Dynamic Systems, *5th Int. Workshop on Principles of Diagnosis*, New Paltz, (NY), USA, 1994.

L. Travé-Massuyès, R. Milne, Diagnosis of Dynamic Systems based on Explicit and Implicit Behavioural Models: An application to Gas Turbines in Esprit Project TIGER,

1) *Fifth Scandinavian Conference on Artificial Intelligence SCAI’95*, Trondheim, Norway, 1995 (invited);

2) *IJCAI Workshop on Second Engineering Problems for Qualitative Reasoning*, Montréal, Québec, 1995.

R. Milne, C. Nicol, L. Travé-Massuyès, J. Quevedo, TIGER : Knowledge based Gas Turbine Condition Monitoring, *Expert Systems Conference*, Cambridge, UK, 1995, (Award of the Best Application Paper).

- R. Milne, L. Travé-Massuyès, J. Quevedo, TIGER : numeric and qualitative model-based diagnosis, *13th IFAC World Congress (IFAC'96)*, San Francisco, USA, pp. 127-132, 1996.
- L. Travé-Massuyès, R. Pons, Causal ordering for multiple mode systems, *11th Int. Workshop on « Qualitative Reasoning about Physical Systems »*, Cortona, Italy, 1997.
- R. Milne, L. Travé-Massuyès, Model-based aspects of the TIGER gas turbine condition monitoring system, *IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety for Technical Processes SAFEPROCESS'97*, Hull, UK, pp. 420-425, 1997.
- J. Armengol, L. Travé-Massuyès, J-Ll. de la Rosa, J. Vehí. Envelope generation for interval systems. Actas del seminario sobre técnicas cualitativas. VII Congreso de la Asociación Española para la Inteligencia Artificial (CAEPIA 1997), pp. 33-48. M. Toro (editor), Málaga, Spain, 12-14 Nov 1997.
- S. Cauvin, M.O. Cordier, D. Dousson, G. Deflandre, P. Laborie, F. Levy, Y. Montmain, M. Porcheron, I. Servet, L. Travé-Massuyès, Surveillance et interprétation d'alarmes en milieu industriel, Actes des *Journées Nationales du PRC-IA*, 9-30, 1997, Hermès Editeur.
- J. Armengol, L. Travé-Massuyès, J. Vehí, M.A. Sainz, Modal interval analysis for error-bounded semiquantitative simulation, *CCIA '98, 1^{er} Congrès Catalan d'Intelligence Artificielle*, 4p, 1998, ISBN 2-84254-013-1.
- J. Armengol, J. Vehí, J. Lluís De La Rosa, L. Travé-Massuyès, On modal interval analysis for envelope determination within the Ca~En qualitative simulator, *7th International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-based Systems (IPMU'98)*, Paris (France), 6-8 Juillet 1998, pp.110-117, ISBN 2-84254-013-1.
- L. Travé-Massuyès, R. Milne, Gaps between research and industry related to model based and qualitative reasoning, In the proceedings of the *ECAI'98 workshop on "Model Based Systems and Qualitative Reasoning"*, Brighton (UK), August 23-28, 1998.
- J. Armengol, L. Travé-Massuyès, J. Vehí, J. Lluís De La Rosa, A survey on interval model simulators and their properties related to fault detection, Rapport LAAS N°98326, Juillet 1999, 5p, in Proc. of *IFAC World Congress, vol. O, pp. 511 – 519*, Beijing, China, 1999.
- J. Armengol, L. Travé-Massuyès, J. Vehí, M.A. Sainz, Semiquantitative simulation using modal interval analysis. New perspectives for imprecise model-based fault detection, Rapport LAAS N°98327, Juillet 1999, 16p., in Proc. of *IFAC World Congress, vol. O, pp. 521 – 526*, Beijing, China, 1999.
- L. Travé-Massuyès, F. Prats, M. Sanchez, N. Agell, J. Pastor, Qualitative agents for assessing human reasoning in process supervision, in *Proc. of Int. Workshop on Qualitative Reasoning QR'99* (ISBN : 0 903878 60 7), Loch Awe, Scotland, June 1999.
- J. Armengol, L. Travé-Massuyès, J. Vehí, M.A. Sainz, Generation of Error-Bounded Envelopes Using Modal Interval Analysis, in *Proc. of Int. Workshop on Principles of Diagnosis DX'99* (ISBN: 0 903878 55 0), pp. 20-26, Loch Awe, Scotland, June 1999.
- P.Ph Faure, L. Travé-Massuyès, H. Poulard, An interval-based approach for diagnosis tree generation, in *Proc. of Int. Workshop on Principles of Diagnosis DX'99* (ISBN: 0 903878 55 0), pp. 78-89, Loch Awe, Scotland, June 1999.

R. Pons, L. Travé-Massuyès, M. Porcheron, Model-based diagnosis and maintenance of time-varying dynamic systems, in *Proc. of Int. Workshop on Principles of Diagnosis DX'99* (ISBN: 0 903878 55 0), pp. 211-219, Loch Awe, Scotland, June 1999.

T. Escobet, J. Quevedo, S. Tornil, L. Travé-Massuyès, Integration of Dynamic Models in a Gas Turbine Supervision Control, *7th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation ETFA '99*. Barcelona, Oct. 1999.

L. Travé-Massuyès, S. Gentil, Artificial intelligent approaches for supervision and alarm interpretation in industrial environments, Rapport LAAS n°98429, Octobre 1998, 9p, in *Proc. of the European Control Conference ECC'99*, Karlsruhe, Germany, August 1999.

J. Armengol, J. Vehi, L. Travé-Massuyès, M.A. Sainz, Generation of error-bounded envelopes by means of Modal Interval Analysis. *Workshop on Applications of Interval Analysis to Systems and Control with special emphasis on recent advances in Modal Interval Analysis (MISC 1999)*, pp. 251-261, Girona, Catalonia, Spain, 1999 02 24 - 26.

M.O. Cordier, P. Dague, M. Dumas, F. Levy, Y. Montmain, M. Staroswiecki, L. Travé-Massuyès, AI and Automatic Control Approaches of Model-Based Diagnosis: Links and Underlying Hypotheses, *IFAC Symposium SAFEPROCESS 2000*, Budapest, Hungary, June 2000, pp. 274-279.

Cordier M.-0., Dague P., Dumas M., Levy F., Montmain J., Staroswiecki M., Travé-Massuyès L., A comparative analysis of AI and control theory approaches to model-based diagnosis, *ECAI '00*, Berlin, Germany, August 20-25, 2000.

J. Armengol, J. Vehi, L. Travé-Massuyès, M.A. Sainz, Interval model-based fault detection using multiple sliding time windows. *4th IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety for Technical Processes (SAFEPROCESS 2000)*, pp. 168 -173. Budapest, Hungary, 2000.

J. Armengol, L. Travé-Massuyès, J. Vehi, M.A. Sainz, *9th GAMM - IMACS International Symposium on Scientific Computing, Computer Arithmetic, and Validated Numerics SCAN 2000* together with the *International Conference on Interval Methods in Science and Engineering Interval 2000*, September 19-22, 2000, Karlsruhe, Germany.

R. Milne, C. Nicol, L. Travé-Massuyès, Tiger with Model Based Diagnosis: Initial Deployment, In: *Applications and Innovations in Intelligent Systems VIII, Ann Macintosh and Mike Moulton and Frans Coenen (eds)*, pp. 181-196, ISBN 1-85233-402-9, Springer-Verlag, London, Proceedings of ES 2000, Cambridge, England, December 2000. Best Paper Award from the Specialist Group on Knowledge-Based Systems and Applied Artificial Intelligence (SGES).

T. Escobet, L. Travé-Massuyès, S. Tornil, J. Quevedo, Fault detection of a gas turbine fuel actuator based on qualitative causal models, *European Control Conference (ECC'01)*, Porto (Portugal), 4-7 Septembre 2001, 2741-2746.

L. Travé-Massuyès, T. Escobet, R. Milne (2001a) Model-based diagnosability and sensor placement. Application to a frame 6 Gas turbine sub-system, *7th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'01)*, Seattle (USA), 4-10 Août 2001, pp.551-556 ; also in *Proc. of 12th International Workshop on Principles of Diagnosis (DX'01)*, Sansicario, Via Lattea (Italie), 7-9 Mars 2001, pp.205-212.

T. Escobet, L. Travé-Massuyès, Parameter estimation methods for fault detection and isolation, Bridge Workshop Notes, Sansicario (I), March 5-9 2001.

J. Armengol, J. Vehi, L. Travé-Massuyès, M.A. Sainz, Application of multiple sliding time windows to fault detection based on interval models, 12th International Workshop on Principles of Diagnosis (DX'01), Via Lattea (Italie), 7-9 Mars 2001, pp.9-16.

J. Armengol, L. Travé-Massuyès, J. Vehi, M.A. Sainz, Fault detection based on interval models and multiple sliding time windows, Journées Doctorales d'Automatique JDA'01 (Conference canceled but proceedings published), Toulouse, France.

PP. Faure, X. Olive, L. Travé-Massuyès, H. Poulard, AGENDA : Automatic generation of Diagnosis Trees, Journées Doctorales d'Automatique JDA'01 (Conference canceled but proceedings published), Toulouse, France.

L. Travé-Massuyès, T. Escobet, R. Pons, S. Tornil (2001b) The Ca-En diagnosis system and its automatic modelling method, In Proc. of Workshop on Diagnosis, Qualitative Reasoning and Socio-Economic Systems, C. Alonso and J.A. Ortega Editors, Valladolid, Spain, 4-6 July 2001, ISBN 84-95499-35-5.

Benazera E., L. Travé-Massuyès, Dague P., Hybrid model based diagnosis for autonomous spacecrafts, ESA Workshop on « On-board Autonomy », Noordwick (The Netherlands), pp. 279-286, 17-19 October 2001.

Benazera E., L. Travé-Massuyès, Un formalisme discret de modélisation pour le diagnostic réactif, Actes de la Conférence « Modélisation des Systèmes Réactifs » MSR'01, Toulouse, France, pp. 393-408, 17-19 October 2001, Eds G. Juanole, R. Valette, Hermès Science Publications, ISBN 2-7462-0329-4.

S. Tornil, T. Escobet, L. Travé-Massuyès, E. Benazera, Robust Interval Model Based Fault Detection – Satellite Attitude and Orbit Control System Case Study, 15th IFAC World Congress on Automatic Control, Barcelona, Spain, 21-26 July 2002 (submitted).

J. Armengol, L. Travé-Massuyès, J. Vehi, M.A. Sainz, Fault detection and isolation using multiple sliding time windows and interval models, 15th IFAC World Congress on Automatic Control, Barcelona, Spain, 21-26 July 2002 (submitted).

8.6 Rapports

K. Bousson, L. Travé-Massuyès, A theory of qualitative automata for dynamic process supervision, Rapport LAAS/CNRS n° 92007, Toulouse, France, 1992.

L. Travé-Massuyès, R. Milne, Real Situation Assessment of Dynamic, Hard to Measure Systems, Rapports techniques du projet Esprit TIGER n° 6862, 1992-1995.

R. Pons, L. Travé-Massuyès, Diagnostic à base de modèles appliqué aux composants du circuit primaire d'une centrale nucléaire, Rapports Techniques du Contrat CNRS/EDF n°P21/2M5381, Rapport LAAS N°97559, 49p. (Novembre 1996, Mars 1997), Rapport LAAS N°97560, 50p.

(Novembre 1997), Rapport LAAS N°98114, 43p. (Mars 1998), Rapport LAAS N°98436, 16p., (Octobre 98, Mars 99).

T. Escobet, J.P. Gouyon, J.A. Jimenez, J. Quevedo, L. Travé-Massuyès, S. Tornil, Model Descriptions, Rapport technique D310.9 du projet Européen Trial Applications TIGER SHEBA MBD n° 27548, Juin 1999, 115p.

Travé-Massuyès L., Dague P., Etude dans le cadre du DE Autonomie, thème Diagnostic et Décision à bord. Rapport n°1 : Approches pour le diagnostic, Rapport CNES, Toulouse, France, Mars 1999.

Travé-Massuyès L., Dague P., Etude dans le cadre du DE Autonomie, thème Diagnostic et Décision à bord. Rapport n°2 : Problème de décision et validation, Rapport CNES, Toulouse, France, Mars 1999.

J. Armengol, J. Vehi, L. Travé-Massuyès, M.A. Sainz, Fault detection using interval models, 9th GAMM - IMACS International Symposium on Scientific Computing, Computer Arithmetic, and Validated Numerics SCAN 2000 together with the International Conference on Interval Methods in Science and Engineering Interval 2000, September 19-22, 2000, Karlsruhe, Germany (<http://www.scan2000.de>). Presented but not published.