



HEALTH MANAGEMENT FONCTIONNEL ROBUSTE

DE L'APPEL A PROJET BLANC ANR/FNRAE 2012

Contexte et motivations

De nombreux systèmes, dans tous les domaines (aéronautique, automobile, spatial, nucléaire, ferroviaire, ...), bénéficient aujourd'hui de nouvelles technologies en matière de matériels et de logiciels. Cette complexité croissante, naturellement induite par des capacités fonctionnelles et des performances accrues, pose le problème du risque technologique et de sa maîtrise – pour laquelle les attentes deviennent de plus en plus exigeantes. Dans le même temps la course à la compétitivité amène à innover (induisant des risques nouveaux souvent méconnus d'ailleurs) et entraîne des contraintes fortes sur les coûts de production et d'opération (disponibilité système, ...).

Des exemples récents montrent à l'évidence que, malgré la mise en œuvre de techniques de sûreté de fonctionnement éprouvées (certification avion, approches formelles ...), subsistent des situations, certes rares, mais dont les conséquences ont un impact économique important, voire inacceptable.

La notion de « Health Management » (« surveillance de santé », parfois référencée par l'acronyme FDIR – Failure Detection Isolation & Recovery-) d'un système repose sur la mise en œuvre coordonnée de trois grandes fonctions que sont le *diagnostic* (détection et localisation des pannes), le *pronostic* (surveillance et observation des tendances) et la *reconfiguration* (mise en œuvre de redondances ou de sauvegardes, maintien d'un mode de fonctionnement acceptable du système). Elles assurent la gestion et le contrôle des anomalies, optimisant, au plan opérationnel, la disponibilité et la fiabilité des systèmes complexes, incluant ou non l'homme dans la boucle.

Il apparaît que les techniques classiques de Health Management sont mises en défaut soit en présence d'événements nouveaux générés par le recours à l'innovation soit en présence de combinaisons imprévues d'événements liées à la complexité.

Approche fonctionnelle

Historiquement, cette notion de Health Management est apparue dans le domaine de la mécanique (contrôle des structures et des moteurs aéronautiques : fatigue, criques, ...) et plus récemment dans celui des composants électroniques (vieillesse, dégradation de performances). Dans les deux cas, on se situe dans le domaine *physique*.

L'augmentation de la complexité fonctionnelle des systèmes, requise par la nécessité de satisfaire des besoins plus étendus, déplace le problème vers le domaine *fonctionnel*. En effet, les utilisateurs de systèmes de plus en plus automatisés se placent davantage dans le domaine *comportemental*, en cherchant à détecter et anticiper l'apparition de comportements « anormaux ». De ce point de vue, le lien avec les moyens de surveillance et contrôle dans le domaine physique devient plus complexe et plus diffus voire insuffisant.

Le thème proposé Health Management Fonctionnel Robuste a pour objet de développer de nouvelles approches et technologies permettant la conception de systèmes « quasi-résilients », c'est-à-dire susceptibles de maintenir un domaine d'utilisation identifié comme « sûr ».

Les approches à examiner reposent sur une analyse des écarts comportementaux par rapport à ceux attendus, pour être en mesure de réagir sur le modèle ou la statistique des erreurs. De ce point de vue, les préoccupations du Health Monitoring Fonctionnel rejoignent les techniques d'apprentissage statistique, pour ce qui concerne l'analyse des écarts comportementaux, et celles de l'automatique robuste, pour ce qui est de la correction des erreurs, ou plus généralement de la résilience recherchée.

Robustesse

Le concept de robustesse recouvre différentes acceptions qu'il convient de définir rigoureusement dans le cadre de l'étude proposée.

Rapportée au domaine de la sûreté de fonctionnement la robustesse est la capacité d'un système à garantir le respect de certaines propriétés considérées comme essentielles ou vitales en présence d'événements non prévus, les événements prévus (et spécifiés) étant quant à eux couverts par les techniques classiques de tolérance aux pannes et aux fautes.

Dans le domaine de l'automatique, la commande et le contrôle des systèmes se fondent sur l'alimentation d'un modèle par des mesures. Le modèle est réputé représentatif du comportement - supposé raisonnablement connu - du système. Si le comportement du système n'est pas bien connu ou si le modèle n'est pas adapté à la statistique des mesures, le processus de contrôle et commande peut induire un comportement non conforme aux attentes. Il serait donc utile, dans le cadre du Health Monitoring Fonctionnel, de disposer de la capacité à analyser les écarts comportementaux par rapport à ceux attendus, pour être en mesure de réagir sur le modèle ou la statistique des erreurs.

De ce point de vue, le Health Monitoring Fonctionnel rapproche les objectifs de robustesse au sens de la sûreté de fonctionnement des préoccupations de l'automatique « robuste ».

Les propositions devraient en premier lieu s'attacher à définir de façon formelle les propriétés du système exprimées en fonctions et performances de façon vérifiable. Par principe même l'énumération des événements imprévus à envisager est irréaliste : il s'agira au-delà des causes, de définir les concepts de maintien en conditions opérationnelles (dans la gamme de propriétés spécifiées) à partir des conséquences finales sur le système.

L'approche consiste alors à accepter l'idée qu'un système complexe pourrait disposer d'un « espace d'autonomie de fonctionnement », à l'intérieur duquel son *comportement* n'est plus nécessairement déterministe. Les « frontières » de cette espace représentent alors les limites au-delà desquelles le système entre dans des comportements « anormaux ». Un système de Health Monitoring Fonctionnel se concentrera donc sur la détection de ces franchissements et sur la reconfiguration – au moins temporaire - vers des processus de sauvegarde en vue d'une restauration d'un état sûr.

Domaines concernés

Tous les domaines qui mettent en œuvre des systèmes complexes, partiellement ou complètement autonomes (sur un horizon temporel donné), sont candidats au concept de Health Management Fonctionnel Robuste.

- Aéronautique : l'interaction matériel-logiciel-pilote confrontée aux conditions de l'environnement extérieur nécessite une capacité embarquée de gestion des situations « anormales » avec boucle de réaction court-terme
- Spatial
 - Les lanceurs ou véhicules autonomes comme l'ATV (Automatic Transfer Vehicle) exigent une disponibilité exceptionnellement élevée en phase critiques (lancement, approche station spatiale, ..) où le temps de réaction de l'homme est inapproprié
 - Satellites : les exigences en termes de disponibilité opérationnelles des satellites de télécommunications, de navigation (Galiléo), des sondes interplanétaires (durée de blackout) imposent une réactivité bord extrême
- Drones : le système drone requiert une autonomie court-terme compatible avec la boucle de contrôle des opérateurs, dans des conditions d'environnement souvent difficiles (météo, brouillage, etc)
- Transports terrestres (trains, automobiles, ...)
- Générateurs d'énergie

Les propositions auront ainsi pour objet l'exploration des méthodes et technologies support permettant de définir des concepts génériques de Health Management Fonctionnel Robuste en rapport avec au moins l'un des domaines cités.

Axes potentiels d'étude

- Cadres formels (modèles et outils) pour la représentation des comportements, métrique dans l'espace des comportements, représentation de l'incertitude
- Notion de normalité, caractérisation des comportements normaux et anormaux (méthodes d'apprentissage, modélisation et simulation d'événements rares, ...)
- Observabilité des comportements, pronostic (systèmes hybrides, méthodes de filtrage, fusion de données, ...)
- Cadre formel pour la représentation du risque et de la gestion du risque (théorie des jeux, POMDP, théorie de la viabilité, ...)
- Commande robuste aux pannes (dont commande prédictive)
- Interaction homme-système : suivi de l'activité de l'opérateur et partage d'autorité. Cadre formel (modèles et outils) pour la représentation des activités, des intentions, ...
- Evaluation et validation d'un système de Health Management (dont cas particulier des méthodes non déterministes)