



**HAL**  
open science

# Principes de résilience et processus d'apprentissage face à l'imprévu

Kiswendsida Abel Ouedraogo, Simon Enjalbert, Frédéric Vanderhaegen

► **To cite this version:**

Kiswendsida Abel Ouedraogo, Simon Enjalbert, Frédéric Vanderhaegen. Principes de résilience et processus d'apprentissage face à l'imprévu. CIFA 2010 (Conference Internationale Francophone d'Automatique), Jun 2010, Nancy, France. hal-03646874

**HAL Id: hal-03646874**

**<https://uphf.hal.science/hal-03646874>**

Submitted on 25 Apr 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Principes de résilience et processus d'apprentissage face à l'imprévu

Kiswendsida Abel OUEDRAOGO<sup>1,2,3</sup>, Simon ENJALBERT<sup>1,2,3</sup>, Frédéric VANDERHAEGEN<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Univ Lille Nord de France, F-59000 Lille, France

<sup>2</sup>UVHC, LAMIH, F-59313 Valenciennes, France

<sup>3</sup>CNRS, FRE 3304, F-59313 Valenciennes, France

[{kiswendsidaabel.ouedraogo,simon.enjalbert,frédéric.vanderhaegen}@univ-valenciennes.fr](mailto:{kiswendsidaabel.ouedraogo,simon.enjalbert,frédéric.vanderhaegen}@univ-valenciennes.fr)

**Résumé** — Dans ce papier, nous nous intéressons à l'utilisation du concept de résilience dans le cadre du processus d'apprentissage pour les Systèmes Homme-Machine (SHM). Un Etat de l'Art sur la résilience dans différents domaines scientifiques est proposé. Une définition caractérisant la résilience d'un SHM est retenue. Nous présentons ensuite les parades qu'un système peut mettre en œuvre lorsqu'il est confronté à des perturbations. Les processus d'apprentissage capables d'améliorer la résilience de ces systèmes sont détaillés. La mesure de la résilience d'un SHM est discutée et une méthode construite sur le modèle Bénéfice Coût Déficit (BCD) est envisagée afin de déterminer un indicateur de résilience pour un processus d'apprentissage appliqué à un Système Homme-Machine.

**Mots-clés** — systèmes Homme-Machine, résilience, processus d'apprentissage, modèle BCD.

## I. INTRODUCTION

Les Systèmes Homme-Machine (SHM) sont des systèmes où l'opérateur humain et la machine interagissent pour garantir le fonctionnement des systèmes. Dans la littérature, de nombreux travaux se sont intéressés à la partie machine, hors la capacité de réaction de l'ensemble (Homme-Machine) est tout aussi importante, le SHM étant régulièrement sujet à des perturbations externes. Un SHM capable de s'adapter pour parer à une perturbation par ses capacités de réaction est un système résilient.

Dans la seconde section de cet article, un Etat de l'Art du concept de résilience dans divers domaines scientifiques est présenté.

La troisième partie présente les parades et les mécanismes permettant au SHM d'améliorer ses performances notamment en termes de résilience. Une approche comportementale du système face à des perturbations imprévues est définie.

Par la suite, une discussion sur les méthodes d'évaluation de résilience et leur pertinence est engagée. Nous présentons le modèle Bénéfice, Coût, Déficit qui pourrait permettre de définir une métrique plus pertinente pour caractériser la résilience d'un collectif Homme-Machine.

La dernière partie présente une conclusion sur le travail et des perspectives sont évoquées.

## II. ETAT DE L'ART SUR LA RESILIENCE

Le concept de résilience a été emprunté à la physique des matériaux, puis transposé dans différents domaines scientifiques : en psychologie, en psychiatrie [7], en sociologie, en économie, en biologie [17], [20], [21], en informatique [4], [18], [14], en automatique [19], [34].

Il est ainsi lié à différentes théories :

- en psychologie, en psychiatrie, ce concept apparaît en théorie de l'invulnérabilité, *i.e.* la capacité d'un individu à surmonter des traumatismes et à s'en sortir.
- En biologie, il est développé dans la théorie de la viabilité, *i.e.* la capacité d'un organisme à survivre après une perturbation ou une agression.
- En physique, la résilience s'interprète comme la capacité d'un matériau à absorber des chocs ou à retrouver son intégrité. La théorie de la sûreté de fonctionnement associe la résilience à la tolérance aux fautes ou aux erreurs.
- En informatique, la résilience caractérise la tolérance aux pannes d'un système.
- En science des organisations, la résilience définit la capacité à anticiper et gérer un risque afin d'assurer de bonnes performances du système organisationnel.

Dans le cadre de la sûreté de fonctionnement des SHM, la résilience est la capacité de l'homme, d'un composant, d'un groupe ou de l'environnement à récupérer ou s'adapter positivement (avec succès) face à des agressions imprévues ou inconnues [8]. Cette approche permet d'intégrer les différentes composantes du système (techniques, humaines et organisationnelles) et leurs interactions [1].

Nous pouvons dire que la résilience est un processus dynamique d'adaptation du système, puisque l'état général est amené à évoluer constamment, et non un état unique. Le système résilient permet alors le contrôle, la récupération et la compensation ou la limitation des effets d'une agression ou d'une perturbation [5], [11].

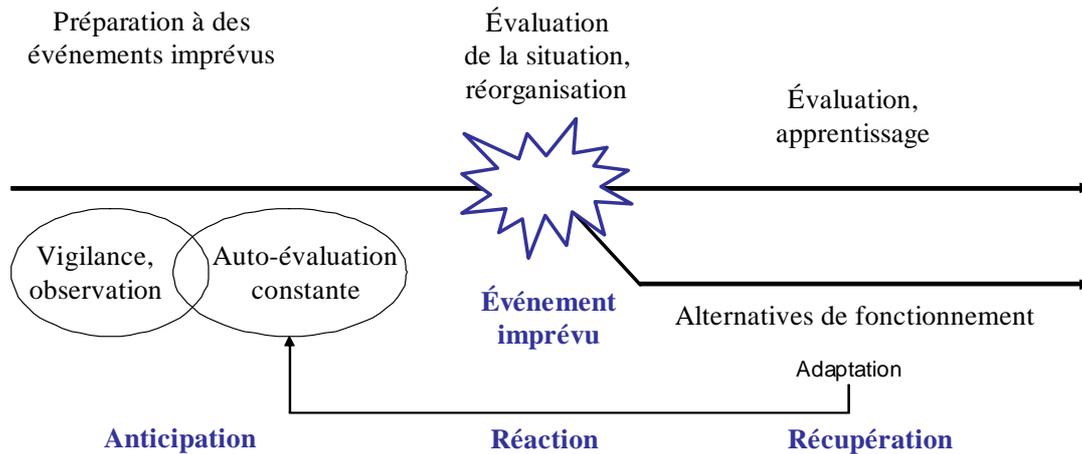


Fig. 1. Organisation résiliente (Hollnagel dans [9])

### III. RESILIENCE ET PROCESSUS D'APPRENTISSAGE

Un système, Fig. 1, capable de s'adapter pour parer à une perturbation par ses capacités de contrôle et d'anticipation, de réaction, de récupération, est un système résilient. Un tel système anticipe l'occurrence des événements imprévus par une surveillance et une analyse constante de son état de fonctionnement en vue de déterminer s'il est capable de réagir face aux perturbations ; lors de l'occurrence d'une perturbation, le système doit être capable de réagir, *i.e.* évaluer la situation en cours et se réorganiser en conséquence. Certains événements imprévus ne pouvant pas être évités, le système doit pouvoir récupérer de leurs occurrences par l'élaboration d'alternatives de fonctionnement grâce à des processus d'évaluation et d'apprentissage contribuant à améliorer l'aspect résilient du système.

#### A. Parades

Les mécanismes de parades mis en jeu par le système résilient, peuvent consister à :

- Utiliser les éléments non affectés pour compenser et réaliser les fonctions des éléments affectés [4], [18], [19]. Ce qui fonctionne compense ce qui ne fonctionne pas.
- Maintenir le système entre deux bornes minimale et maximale d'acceptabilité ou de gestion des agressions ou perturbations plutôt qu'en un point ou une valeur stable [17].
- Mettre les éléments critiques en redondance [14]. Les éléments affectés ne sont plus sollicités et les éléments redondants les remplacent.
- Réapprendre ou apprendre aux éléments affectés à fonctionner correctement ou à mieux fonctionner [5]. Ce qui ne fonctionne plus est réinitialisé et préparé pour un fonctionnement futur.
- Fonction initial de l'apprentissage chez l'homme: capacité à développer des comportements assurant la survie de l'organisme [16].

#### B. Processus d'apprentissage

Au niveau du SHM résilient, illustré avec la Fig. 1, la réaction et la récupération sont capitalisées dans des processus d'apprentissage ([2], [29]) face à l'imprévu. Différentes méthodes d'apprentissage se distinguent :

- par observation des comportements ou actions d'autrui,
- par imitation ou copie d'actions réponses à un événement [32], [3].
- par tâtonnement, apprendre par des essais, au hasard,
- par intuition, compréhension soudaine sans raisonnement.

L'apprentissage, issu de la psychologie, est un processus d'acquisition de connaissances, de compétences ou d'attitudes par modélisation (observation, imitation) ou par action (tâtonnement, intuition). Il permet d'améliorer les performances d'un système en fonction des ressources et des compétences disponibles [2] et peut être de quatre types.

En psychologie [16] :

- non associatif, réponse à un seul type de stimuli : *i.e.* l'habituation ou la sensibilisation.
- associatif, plusieurs stimuli : le conditionnement.

En ingénierie, deux grandes catégories d'approches :

- supervisé, Figure 2, l'apprenant est guidé par le "maître" qui lui fournit une indication sur les actions à exécuter pour améliorer ses performances [2], [33]. Dans le cas non supervisé, l'apprenant doit découvrir par lui-même.

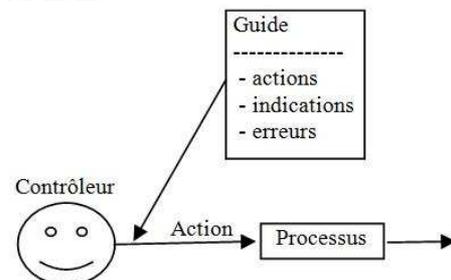


Fig. 2. Représentation apprentissage supervisé (Buche [2] adapté)

- renforcé, Figure 3, un feedback permet d'indiquer si l'action générée est appropriée ou non [31], [25].

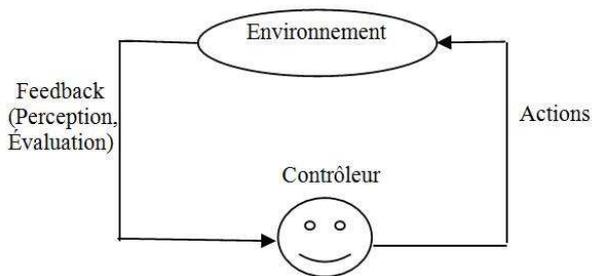


Fig. 3. Représentation apprentissage renforcé (Garcia [6] adapté)

L'apprentissage renforcé présenté sur la Figure 3 a été largement utilisé dans des applications de planification, de contrôle ou de prise de décision. Plutôt que d'utiliser les instructions prédéfinies (apprentissage supervisé), l'agent interagit dynamiquement par des essais-erreurs avec son environnement, un feedback est généré sous forme d'indicateur –évaluation– pour orienter l'apprentissage afin d'obtenir l'état de fonctionnement désiré [24].

L'apprentissage renforcé poursuit ainsi un double objectif :

- conduire de manière optimale un système au cours du temps (contrôle optimal en automatique [6]).
- Apprendre ou réapprendre la conduite optimale à travers des expériences (essais-erreurs).

Pour un système sujet à des perturbations inconnues ou imprévues, l'apprentissage par renforcement paraît plus adapter de par l'interaction de l'agent avec environnement pour la recherche d'un comportement décisionnel optimal dans l'incertain.

L'apprentissage effectif passe par différentes phases : acquisition – aisance – rétention – résistance/endurance – transfert – application [15]. Le Her dans [13] propose les courbes de performance, de tests de rétention et de transfert d'apprentissage afin d'évaluer l'apprentissage du collectif Homme-Machine. L'apprentissage machine permet aux systèmes d'évoluer et est le fait d'algorithmes divers : le Q-learning, les machines à vecteur de support, les réseaux de

neurones, la logique floue, la méthode des  $k$  plus proches voisins, les arbres de décision, les algorithmes génétiques.

### C. Comportement face à l'imprévu

À l'occurrence d'un événement imprévu pour un SHM, illustré sur la Figure 4, deux approches comportementales se distinguent en fonction des situations qui se présentent.

Dans la première approche, l'état courant peut être identifié grâce à l'expérience. Celui-ci résulte de situations connues. Un pronostic relatif aux états futurs du système est établi par le mécanisme d'estimation d'état feedforward [12], [29] qui consiste à évaluer ou prédire l'état futur en fonction de l'état courant et des divers paramètres du SHM. Si l'état courant ne peut être identifié ou le pronostic impossible à réaliser, un diagnostic par feedback relatif aux états précédents du système est effectué. Il s'agit dans ce cas d'évaluer l'état par retour d'expérience des états précédents. Dans cette approche, il s'agit de résilience du système dans le cadre de situations connues.

La deuxième approche nous intéresse plus particulièrement car elle correspond à l'occurrence d'une situation nouvelle ou imprévue. L'indentification de l'état courant et le pronostic sur les états futurs sont impossibles puisque l'état est inconnu du SHM. Un diagnostic ne peut également avoir lieu pour des raisons similaires. Il faut alors procéder par des essais-erreurs qui consistent à l'application d'actions sans connaissance des conséquences sur le SHM. Les actions peuvent être effectuées de façon itérative [29] ou par expérience (un état similaire ou approché connu, application de l'action ayant permis sa résolution) dans le but de déterminer l'action optimale. Il s'agit ensuite d'évaluer les conséquences de l'action entreprise afin de procéder à un éventuel diagnostic et à la capitalisation de l'expérience acquise si elle est un succès. Il s'agit de résilience du système dans le cadre de situations imprévues.

Le but de cet algorithme est d'aboutir à la sélection de l'alternative la plus appropriée et définir un nouveau plan d'actions avec ses conséquences associées que l'on appliquera au SHM afin d'évaluer son impact en termes de résilience.

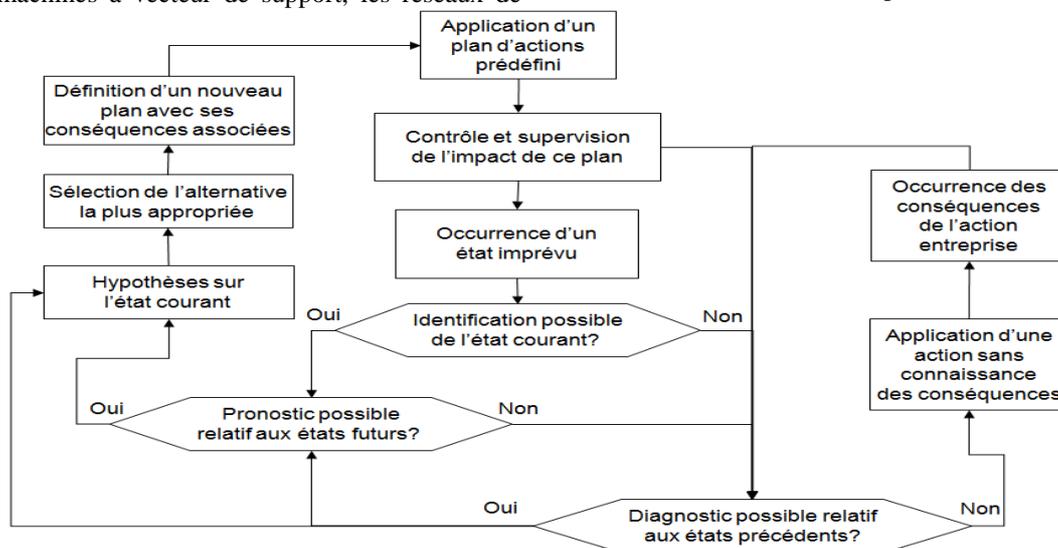


Fig. 4. Comportement face à l'imprévu (adaptée de Vanderhaegen [27])

#### IV. RESILIENCE ET MESURES

À l'origine, la résilience est un terme utilisé en physique pour désigner la résistance aux chocs d'un matériau. Dans ce domaine, une première mesure de la résilience a été proposée. Cependant, la résilience d'un système ne peut être quantifiée de la même façon [10] et il n'existe pas à ce jour de mesure objective permettant l'évaluation de la résilience d'un système Homme-Machine. Néanmoins, différentes approches ont été mises en place afin d'évaluer la résilience.

##### A. Approches de mesure

L'état de fonctionnement normal du système, sans perturbation est pris comme situation de référence (Figure 5). A l'occurrence d'un évènement imprévu, les performances du système perturbé sont dégradées. Un seuil d'acceptabilité minimum; en fonction du niveau critique ou de sensibilité du système considéré, est défini par concepteur. Ce seuil, en-dessous duquel les perturbations sont considérées comme importantes et rendent le fonctionnement du système critique (à partir du temps  $T_p$ ), lors de son franchissement doit entraîner une réaction du système afin de retourner à un état de fonctionnement stable. La perturbation maximale est notée ( $E_{max}$ ) et se produit au temps  $T_{max}$ . Si le système est résilient, il récupérera et un retour vers un fonctionnement normal ou dégradé (au temps  $T_r$ ) est envisageable.

(Luo et Yang) dans [14] estime que le temps nécessaire pour un retour à un état acceptable de fonctionnement après une perturbation appelé le temps moyen de récupération, est une mesure de résilience aux fautes ( $T_j = T_r - T_p$ ); Pour Martin dans [17], c'est l'intensité maximale ( $E_{max}$ ) d'une perturbation que peut subir un système sans affecter son fonctionnement normal.

Dans le domaine de l'écologie, des auteurs ont proposé différentes méthodes de calcul de la résilience. Pour (Orwin et Wardle) [20], la résilience instantanée ( $T_j$ ) illustrée sur la Fig. 5 est liée à l'intensité des perturbations maximale et instantanée ( $E_j$ ) sur le système et varie entre -1 et +1 :

$$résilience(T_j) = \left( \frac{2 \times |E_{max}|}{|E_{max}| + |E_j|} \right) - 1 \quad (1)$$

Nous constatons que ces propositions prennent en compte soit les notions d'intensité de la perturbation, soit de temps de récupération, mais pas les deux simultanément. (Pérez-España et Arreguín-Sánchez) dans [21] calculent la résilience (variant entre 0 et 90°) comme l'inverse de la tangente du ratio entre la résistance sur le temps de récupération d'une perturbation (Fig. 5).

$$résilience(T_j) = \tan^{-1} \left( \frac{1}{\frac{|E_{max}|}{T_r - T_p}} \right) - 1 \quad (2)$$

Cette dernière approche de mesure présente l'inconvénient de n'évaluer la résilience que sur un intervalle de temps et ne permet pas de prendre en compte l'évolution générale d'un système Homme-Machine faisant face à des perturbations diverses : régulières, irrégulières ou même imprévues [9] et qui peut être amené à franchir à plusieurs reprises le seuil minimal d'acceptabilité.

Nous proposons de définir les principes du modèle Bénéfice Coût Déficit qui pourrait être utilisé comme une approche de caractérisation de la résilience des SHM.

##### B. Principes du modèle Bénéfice Coût Déficit (BCD)

Le modèle BCD [22], [23], [28], permet d'interpréter toute perturbation ou attaque d'un système technique ou d'un opérateur humain en termes de :

- B, Bénéfices espérés en relation avec le contrôle de cette perturbation,
- C, Coûts acceptables générés par la création d'une parade à cette perturbation,
- D, Déficits ou dangers potentiels si le contrôle échoue.

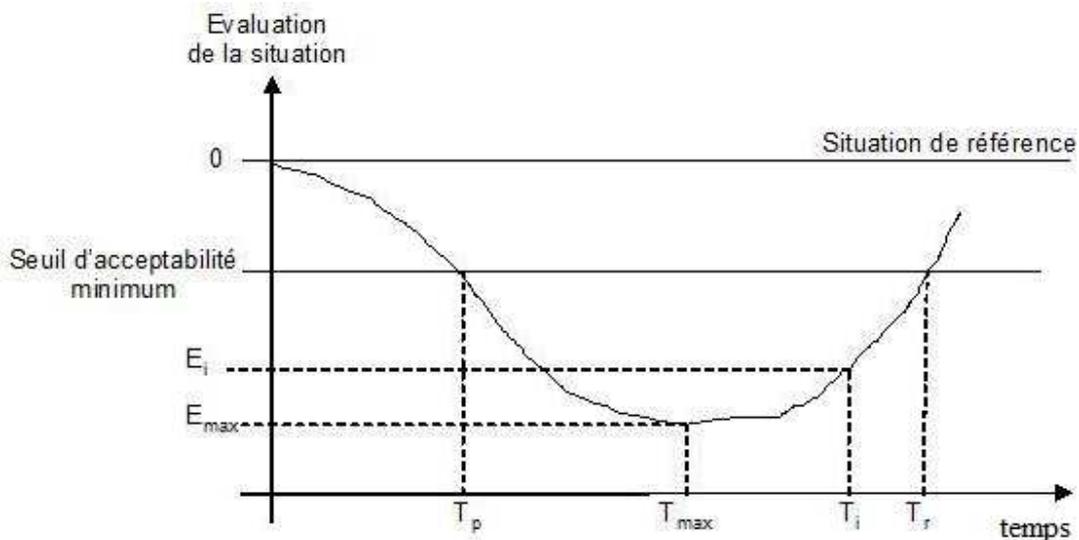


Fig. 5. Calculs de la résilience, (adaptée de Orwina et Wardle [20])

## V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Un seuil d'acceptabilité du Coût est défini par le prescripteur. Par suite, deux indications sont relevées : la perte de contrôle et le contrôle de la situation. L'avantage de ce modèle est qu'il permet la transformation de données qualitatives en valeurs quantitatives (valeur logique des fonctions B, C et D pour un critère subjectif ou qualitatif, par exemple la sécurité, la productivité ou la qualité du service). L'évaluation de la performance du système est donnée par [8] :

$$K_{J,i}(a,b) = s_i(b(t_b)) - s_i(a(t_a))$$

$$K_{J,i}(a,b) = \begin{cases} K_{B,i}(a,b) & \text{si } B_i(a,b) \\ K_{C,i}(a,b) & \text{si } C_i(a,b) \\ K_{D,i}(a,b) & \text{si } D_i(a,b) \\ 0 & \end{cases} \quad (3)$$

Avec :

- a et b sont des situations données aux instants respectifs  $t_a$  et  $t_b$ ,
- $s_i(x(t_x))$  est le critère de sévérité associé à la situation x au temps  $t_x$ .

Le modèle BCD a été utilisé pour l'évaluation et la prédiction de comportements dans le cadre du franchissement de barrières par des opérateurs humains. Par la suite, nous envisageons d'identifier les données issues du modèle BCD permettant de définir un indicateur ou une métrique pertinente pour la caractérisation de la résilience des SHM et ce pour certains critères : sécurité, productivité, etc.

L'évaluation de la résilience est envisageable en fonction du temps passé par le système au-delà du seuil d'acceptabilité et de l'intensité de la perturbation subie. La surface ainsi représentée sur la Figure 6 (partie hachurée) correspondrait alors à la résilience de notre système.

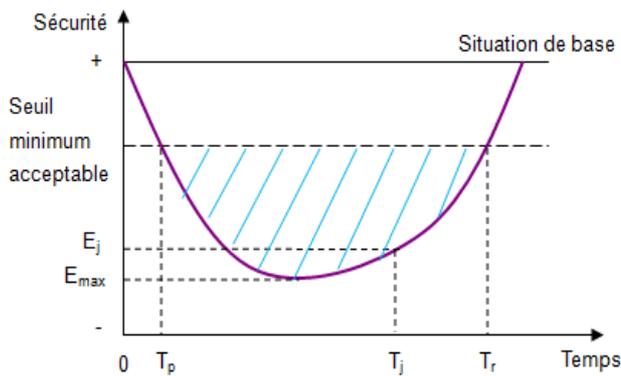


Fig. 6. Évaluation de la résilience d'un SHM par la surface en dessous du seuil minimum acceptable [8]

Moins cette surface est importante, meilleure est la résilience de notre système (ici pour le critère de la sécurité d'un système) et inversement. Il serait alors possible de mesurer la résilience de différents SHM.

Cet article nous a permis de présenter des méthodes de détermination de la résilience des SHM; un état de l'art sur le concept de résilience a été développé et une définition retenue. Les parades et les processus d'apprentissage existants pour l'amélioration des performances du collectif Homme-Machine ont été présentés. Un modèle de comportement du SHM face à l'imprévu a été proposé (Fig. 4). Quelques approches d'évaluation de la résilience des SHM présent dans la littérature ont été abordées mais elles apparaissent néanmoins insuffisantes. Le modèle BCD utilisé pour définir des indicateurs pour l'évaluation des performances des SHM, pourrait servir à construire une métrique pertinente pour l'évaluation de la résilience des SHM considérés. Ainsi, l'impact des processus d'apprentissage pourrait être estimé.

À l'occurrence d'une perturbation nouvelle, le système résilient doit pouvoir faire face. Pour cela, le SHM doit être doté de mécanismes d'apprentissage et de réapprentissage performants. La difficulté réside dans les mécanismes à mettre en œuvre pour l'évaluation des actions entreprises et le processus de sélection de l'alternative optimale.

## VI. REMERCIEMENTS

Ces travaux de recherche ont été soutenus :

par le Campus International sur la Sécurité et l'Intermodalité des Transports,  
la Région Nord-Pas-de-Calais,  
la Communauté Européenne,  
la Délégation Régionale à la Recherche et à la Technologie,  
le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche,  
et le Centre Nationale de la Recherche Scientifique.

Les auteurs remercient chaleureusement le support de ces institutions.

## VII. REFERENCES

- [1] Belmonte F., Impact des postes centraux de supervision de trafic ferroviaire sur la sécurité. Thèse de doctorat, Université de Technologie de Compiègne, France. 10 septembre 2008.
- [2] Buche C., Apprentissage par imitation pour les comportements d'agents autonomes. Rapport de DEA, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Brest (ENIB), 2002.
- [3] Calinon S., Guenter F. and Billard A., On Learning, Representing, and Generalizing a task in a Humanoid Robot. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part B: Cybernetics*, vol. 37, NO.2, April 2007.
- [4] Chen C.-M., Lin C.-W., Chen Y.-C. Adaptive error-resilience transcoding using prioritized intra-refresh for video multicast over wireless networks. *Signal Processing: Image and Communication*, 22, pp. 277-297, 2007.
- [5] Cheveau F.-R., Wybo J.-L., *Approche pratique de la culture de sécurité : pour une maîtrise des risques industriels plus efficace*. Revue Française de Gestion, 174, 171-198, 2007.
- [6] Garcia, F. Apprentissage par renforcement : introduction. <http://www.inra.fr/internet/Departements/MIA/T//garcia/Doc/Talks/tal kPDM.pdf>
- [7] Goussé V. *Apport de la génétique dans les études sur la résilience : l'exemple de l'autisme*. Annales Médico-Psychologiques, Sous presse. 2005.
- [8] Gu L., Enjalbert S., Vanderhaegen F., Résilience des Systèmes Homme-Machine – Application à la sécurité dans les transports. 2009.
- [9] Hollnagel E., Achieving system safety by resilience engineering. 1st Institution of Engineering and Technology International Conference on System Safety. June 2006.
- [10] Hollnagel E., Woods D.D., Epilogue : Resilience engineering precepts. In E. Hollnagel, D.D. Woods, N. Leveson (Eds) *Resilience engineering : concepts and Precepts*. Ashgate. 2006.
- [11] Lasagne M., Management des risques, stratégies d'entreprise et réglementation : le cas de l'industrie maritime. Thèse de doctorat, ENSAM, Sciences et Gestion, France. 2004.
- [12] Lee T.H., Tan K.K., Lim S.Y., Dou H.F., Iterative learning control of permanent magnet linear motor with relay automatic tuning. *Mechatronics* 10, pp.169-190, 2000.
- [13] Le Her, M., L'apprentissage des habiletés motrices. 2004. [http://calamar.univ-ag.fr/uag/staps/cours/edu\\_mot3/ahm1.pdf](http://calamar.univ-ag.fr/uag/staps/cours/edu_mot3/ahm1.pdf)
- [14] Luo M.-Y., Yang C.-S., Enabling fault resilience for web services. *Computer Communications*, 25, pp.198-209, 2002.
- [15] Malcuit G., Pomerleau A., Maurice, P., Psychologie de l'apprentissage. Termes et concepts. Québec : EDISEM, MALOINE. 1995.
- [16] Marcantoni W.S., Mécanismes cellulaires de l'apprentissage. 2009. <http://www.unites.uqam.ca/cnc/psy4042/mecanismesneuronaux.pdf>
- [17] Martin S. La résilience dans les modèles de systèmes écologiques et sociaux. Thèse de doctorat, Ecole Normale Supérieure de Cachan, France. 17 Juin 2005.
- [18] Nakayama H., Ansari N., Jamalipour A., Kato N., Fault-resilient sensing in wireless sensor networks. *Computer Communication*, 30, pp.2375-2384, 2007.
- [19] Numanoglu T., Tavli B., Heinzelman W., Energy efficiency and error resilience in coordinated and non-coordinated medium access control protocols. *Computer Communications*, 29, pp.3493-3506, 2006.
- [20] Orwin K. H., Wardle D. A., New indices for quantifying the resistance and resilience of soil biota to exogenous disturbances. *Soil Biology & Biochemistry*, 36, pp.1907-1912, 2004.
- [21] Pérez-España H., Sánchez A., An inverse relationship between stability and maturity in models of aquatic ecosystems. *Ecological Modelling*, 145, pp.189-196, 2001.
- [22] Polet P., Modélisation des franchissements de barrières pour l'analyse des risques des systèmes Homme-Machine. Thèse de doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, France. 2002.
- [23] Polet P., Vanderhaegen F., Amalberti R., Modelling Border-line tolerated conditions of use (BTCUs) and associated risks. *Safety Science*, 41, pp.111-136, 2003.
- [24] Quah K.H., Quek C., Leedman G., Reinforcement learning combined with a fuzzy adaptive learning control network (FALCON-R) for pattern classification. *Pattern Recognition* 38, pp.513-526, 2005.
- [25] Shih P., Kaul B.C., Jagannathan S. and Drallmeier J.A., Reinforcement-Learning-Based Output-Feedback Control of Nonstrict Nonlinear Discrete-Time Systems with Application to Engine Emission. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part B: Cybernetics*, vol. 39, NO.5, October 2009.
- [26] Vanderhaegen F., *Analyse et contrôle de l'erreur humaine*. Hermès Science Publication, Lavoisier. Paris, France. 2003.
- [27] Vanderhaegen F., Pronostic, diagnostic et tâtonnement face à des situations dynamiques, Note interne, Octobre 2009.
- [28] Vanderhaegen F., The benefit-cost-deficit (BCD) model for human analysis and control. Proceedings of the Ninth IFAC/IFORS/IEA Symposium on Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems, Atlanta, GA, USA, 7-9 September 2004.
- [29] Vanderhaegen F., Polet P., Zieba S., A reinforced iterative formalism to learn from human errors and uncertainty. *Engineering Applications and Artificial Intelligence*, 22, pp.654-659, 2009.
- [30] Watanabe C., Kishioka M., Nagamatsu A., Resilience as a source of survival strategy for high-technology firms experiencing megacompetition. *Technovation*, 24, pp.139-152, 2004.
- [31] Wiering M.A. And Van Hasselt H., Ensemble Algorithms in Reinforcement Learning. *IEEE Transactions On Systems, Man, and Cybernetics – Part B: Cybernetics*, vol. 38, NO.4, August 2008.
- [32] Wood M.A. and Bryson J.J., Skill Acquisition through Program-Level Imitation in Real-Time-Domain. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part B: Cybernetics*, vol. 37, NO.2, April 2007.
- [33] Yannakakis G.N., Maragoudakis M., Hallam J., Preference Learning for cognitive Modeling : A Case Study on Entertainment Preferences. *IEEE Transactions on systems, Man, and Cybernetics – Part A: Systems and Humans*, vol. 39 NO.6. November 2009.
- [34] Zieba S., Jouglet D., Polet P., Vanderhaegen F., Resilience and affordances: perspectives for human-robot cooperation? Paper presented at the 26th European Annual Conference on Human Decision Making and Manual Control, 21-22 June 2007, Copenhagen, Denmark.