

-PET- Vol. 58

ISSN : 1737-9934

**Techniques avancées
sur la commande et le traitement de signal**

**Proceedings of
Engineering & Technology**

-PET-

Editeur :

Dr. Ahmed Rhif (Tunisia)

**International Centre for Innovation & Development
-ICID-**

ICID

ISSN: 1737-9334

-PET- Vol. 58

International Centre for Innovation & Development

Proceedings of Engineering & Technology -PET-

Techniques avancées
sur la commande et le traitement de signal

Editeur:

Dr. Ahmed Rhif (Tunisie)

International Centre for Innovation & Development

-ICID-

Editeur en chef:

Dr. Ahmed Rhif (**Tunisia**)
Ahmed.rhif@gmail.com
Dean of International Centre for
Innovation & Development (**ICID**)

Comité de redaction:

Janset Kuvulmaz Dasedmir, **Turkey**
Mohsen Guizani, **USA**
Quanmin Zhu, **UK**
Muhammad Sarfraz, **Kuwait**
Minyar Sassi, **Tunisia**
Seref Naci Engin, **Turkey**
Victoria Lopez, **Spain**
Yue Ma, **China**
Zhengjie Wang, **China**
Amer Zerek, **Libya**
Abdulrahman A. A. Emhemed, **Libya**
Abdelouahid Lyhyaoui, **Morocco**
Ali Haddi, **Morocco**
Hedi Dhouibi, **Tunisia**
Jalel Chebil, **Tunisia**
Tahar Bahi, **Algeria**
Youcef Soufi, **Algeria**
Ahmad Tahar Azar, **Egypt**
Sundarapandian Vaidyanathan, **India**
Ahmed El Oualkadi, **Morocco**
Chalee Vorakulpipat, **Thailand**
Faisal A. Mohamed Elabdli, **Libya**
Feng Qiao, **UK**

Lijie Jiang, **China**
Mohammed Sidki, **Morocco**
Natheer K.Gharaibeh, **Jordan**
O. Begovich Mendoza, **Mexico**
Özlem Senvar, **Turkey**
Qing Zhu, **USA**
Ved Ram Singh, **India**
Beisenbia Mamirbek, **Kazakhstan**
Claudia Fernanda Yasar, **Turkey**
Habib Hamdi, **Tunisia**
Laura Giarré, **Italy**
Lamamra Kheireddine, **Algeria**
Maria Letizia Corradini, **Italy**
Ozlem Defterli, **Turkey**
Abdel Aziz Zaidi, **Tunisia**
Brahim Berbaoui, **Algeria**
Jalel Ghabi, **Tunisia**
Yar M. Mughal, **Estonia**
Syedah Sadaf Zehra, **Pakistan**
Ali Mohammad-Djafari, **France**
Greg Ditzler, **USA**
Fatma Sbiaa, **Tunisia**
Kenz A.Bozed, **Libya**
Lucia Nacinovic Prskalo, **Croatia**
Mostafa Ezziyyani, **Morocco**
Nilay Papila, **Turkey**
Rahmita Wirza, **Malaysia**

Sommaire

- Réseaux de neurones attentifs prochaine évolution de l'intelligence artificielle. **Page 1**
Mohamed Amine Djebbi, Seifallah Fetni, Riadh Ouersighni.
- Analyse temps et fréquence des potentiels induits par les commutations des gradients lors de l'IRM. **Page 5**
Karim Bouzrara, Odette Fokapu, Kais Jamoussi, Ahmed Fakhfakh.
- Modélisation et Simulation Basées DEVS/SMA de Processus Industriels. **Page 9**
Mohammed Redjimi.
- Sur les Implémentations de Détecteurs de Défaillances dans les Systèmes Distribués Asynchrones. **Page 13**
Hamouma MOUMEN, Souheila BOUAM.

Réseaux de neurones attentifs prochaine évolution de l'intelligence artificielle

1st Mohamed Amine Djebbi
Virtual Reality & Information Technology (VRIT)
Military Academy of Foundouk Jedid
Nabeul, Tunisia
aminedjebbie@gmail.com

2nd Seifallah Fetni
Electro Mechanical department
Military Academy of Foundouk Jedid
Nabeul, Tunisia
seifallah.el.fetni@gmail.com

3rd Riadh Ouersighni
Virtual Reality & Information Technology (VRIT)
Military Academy of Foundouk Jedid
Nabeul, Tunisia
riadh.ouersighni@gmail.com

Abstract—Les techniques d'apprentissage automatique réelles et les méthodes de réseaux de neurones profonds ont un impact potentiel dans le domaine de l'expérience des tâches informelles. Cependant, la plupart de ces mécanismes ne prêtent pas attention au phénomène de psycho-perception. Dans cet article, nous avons bien critiqué les principales limites des modèles de réseau neuronal et du défi des données massives. Ensuite, nous avons mené notre recherche visant à concevoir un réseau de neurones attentif, traitant du lien entre intelligence artificielle et psychanalyse. La structure neuronale proposée implique essentiellement une couche cognitive entre la couche d'entrée et les autres types de couches cachées. Le principal avantage de cette couche est de bénéficier du rendu des autres couches et des fonctions des neurones et de mémoriser la plupart des valeurs d'entrée. Après la séance de formation, notre couche ajoutée pourra extraire, par ses poids et ses fonctions, les données entrantes pertinentes en relation avec des tâches particulières. Les résultats expérimentaux appliqués à un réseau de neurones convolutifs montrent que notre modèle atteint des performances de pointe avec une précision de 99,18 % contre 82,42 % dans la structure précédente.

Index Terms—deep neural network , big-data analysis , machine learning

I. INTRODUCTION

Le concept d'intelligence artificielle (IA) a commencé depuis les années 1950, quand Alan Turing supposait que les machines pouvaient penser, mais avec des limites comparées à l'intelligence humaine. À cette époque, le principal défi consistait à résoudre des tâches arithmétiques et logiques avancées, telles que le déchiffrement des signaux de transmission radio néerlandais de la "machine Inigma" [1]. En fait, l'utilisation de circuits électriques et logiques a prouvé leur efficacité en raccourcissant considérablement les calculs, précédemment exécuté par l'homme. Sept ans avant la machine de Turing, McCulloch et Pitts ont introduit le calcul logique derrière les neurones dans le cerveau [2]. Jusqu'à présent, les progrès technologiques permettent aux machines de devenir des candidats potentiels pour diverses applications telles que la détection et la classification d'objets,

la reconnaissance vocale, la compréhension et la synthèse de texte. [3].

Ce comportement particulier, qui exige de notre cerveau quelques micro-secondes, était le problème de calcul le plus complexe pour les super-ordinateurs les plus puissants durant des années de programmation et de reprogrammation par des algorithmes arithmétiques. Par conséquent, l'importance de l'intelligence artificielle et de l'apprentissage en profondeur par les réseaux de neurones tire son importance de l'inspiration des capacités cérébrales. Cependant, les réseaux de neurones intelligents ne possèdent toujours pas la pensée cognitive initialement induite dans la perception humaine [4]–[6].

Par conséquent, la structure du réseau de neurones est devenue très intéressante en raison de sa capacité à imiter les performances du cerveau. En contrepartie, dans le monde réel, les données, objets et événements traités par apprentissage en profondeur (avec des modèles différents), ne sont pas isolés de leur environnement mais fortement liés à un état de contexte générique. Cela pourrait s'expliquer par la psychologie de la forme dans la loi de Gestalt qui lie la psychologie et la perception [7]. Ici, chaque objet est considéré comme significatif à la fois pour la vision totale que partielle. Une telle prise en compte de la psycho-pensée se manifeste sous d'autres aspects plus intéressants tels que l'impact de l'illusion dans la perception, l'invocation des sens du toucher et l'audition dans la reconnaissance d'objets ainsi que le vocabulaire de compréhension. Ainsi, le recours à la psychanalyse peut se faire avec une grande acuité avec la perception [8].

Dans ce travail, les limites de la perception des réseaux neuronaux profonds seront illustrées dans un premier temps [9]. Ensuite, nous allons démontrer, à travers une nouvelle structure, comment le recours à la psycho-analyse peut conduire à dépasser ces limites.

II. LIMITES DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE ET DE LA PERCEPTION DE L'APPRENTISSAGE AUTOMATIQUE DANS L'ANALYSE DE DONNÉES

A. réseaux de neurones embarqué et défi de la régression des données

Des modèles de réseaux de neurones intelligents sont de plus en plus développés en relation avec le volume de données. Par conséquent, ces modèles nécessitent plus de paramètres pour atteindre les objectifs, mais cela implique des exigences en termes de compétences de calculs et de mémoire des machines. D'énormes modèles sont également sensibles au manque de données, ce qui signifie que l'absence d'un volume légal de données d'apprentissage et de test pourrait être la cause d'un overfit [10]–[12].

La représentation embarqué est une technique bien connue pour résoudre les problèmes de manque de données, utilisant un apprentissage non supervisé pour générer des imbrications et alimenter des algorithmes prédictifs avec moins de données [13], [14]. En outre, l'embarqué est une technique efficace pour développer des algorithmes de compression tels que l'analyse en composantes principales (PCA) [15] et les architectures de codeurs dans la régression des dimensions [16]. En effet, l'idée de régression des dimensions repose sur le principe de conserver les informations importantes dans les données essentielles, afin de répondre aux questions directement liées aux exigences initialement introduites. En conséquence, il existe une perte pondérée d'informations qui peut présenter un intérêt pour d'autres problèmes de classification, mais surtout trop utile dans des situations complexes telles que la localisation.

Jusqu'à présent, l'intelligence artificielle manque l'une des procédures de localisation les plus puissantes; Dans les données du monde réel, les objets et les événements ne sont pas présents seuls dans un environnement restreint. En fait, il existe un lien étroit entre les données dans la forme contextuelle du concept. Nous mentionnons ici le principe de la totalité dans Gestalt low. En d'autres termes, la psychologie de la forme, qui repose sur le concept que chaque composant, est considérée comme faisant partie d'un système de relations dynamiques.

B. Insatisfaction à l'égard de la production de réseaux de neurones spécifiques adaptés à un cas d'utilisation particulier

Les premiers réseaux de neurones développés sont le "réseau de neurones Feed Forward", créé dans les années 1956-1957 par Frank Rosenblatt, qui s'inspire des travaux de McCulloch and [17]. Une illustration schématique est donnée à la figure 1.

les données sont alors en mouvement de la couche d'entrée à la couche de sortie afin de déterminer les résultats finaux du problème. Ensuite, en considérant le poids $W_{ij}^{(k)}$ de la connexion entre le neurone i^{th} de la couche L^{th} et le J^{th} neurone dans la couche $(L^{th} + 1)$, la capacité de notre modèle à résoudre le problème dépend donc de la recherche des valeurs optimales du vecteur de paramètres W_{ij} , vue comme

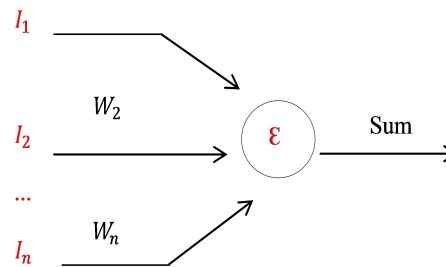


Fig. 1. Illustration de la fonction neuronal Logit

une approche étendue de l'optimisation dans le classificateur linéaire [17].

La technique d'optimisation est directement liée aux termes "Gradient descent" et "Backpropagation technique" dans les réseaux "Feed Forward". Allons plus loin, les autres réseaux de neurones héritent pratiquement le même concept avec plus ou moins de divergence en fonction de la spécificité et de l'objectif du sujet considéré. En ce qui concerne l'exemple du réseau de neurones convolutif (CNN), ils sont créés avec un concept spécifique des filtres et des features comme caractéristiques disposées pour la tâche de classification et de localisation dans les images.

Pour être plus rigoureux, prenons d'abord un vecteur de paramètre comme filtre. Ensuite, nous le multiplions sur toute la surface d'une image d'entrée. La couche en sortie est les "features" générée par les filtres. En augmentant la dimension du filtre, nous réduisons considérablement le nombre de paramètres de connexion dans le modèle. D'une part, les neurones de la couche de convolution ne sont connectés qu'à une petite région locale de la couche précédente. D'autre part, nos filtres s'occupent de nombreuses fonctionnalités particulières et intéressantes (verticales, horizontales, diagonales, points et tâches), mais indépendantes les unes des autres. En effet, le produit génère une carte de caractéristiques difficile à interpréter. Il est donc inutile dans d'autres tâches de classification et de localisation en relation avec la précédente. Par conséquent, la structure spécifique d'un réseau de neurones semble parfaite pour effectuer des tâches particulières et ne pas être en mesure de traiter d'autres problèmes dans le même contexte.

Ensuite, nous présentons la nouvelle structure de réseau de neurones (psycho-perception) pour traiter le problème de contexte.

III. LE RÉSEAU DE NEURONES ATTENTIF

L'interprétation psychologique dans la perception se produit dans plusieurs domaines. Notre étude porte sur la localisation. Nous allons commencer par une enquête de psycho-perception en localisation. Ensuite, nous présentons une description de l'approche méthodologique et de la mise en œuvre du concept de réseau de neurones. Enfin, nous donnerons quelques résultats qui révèlent l'utilisation du contexte et de l'aspect de macro-référencement (dans la psycho-analyse) appliqué aux thèmes de classification et de localisation.

A. Analyse de la Psycho-Perception dans la localisation

Le problème de la localisation se retrouve dans plusieurs domaines: santé, système géographique, cyber-sécurité, astronomie etc. Cet aspect semble être fortement lié au phénomène de la vision globale. Autrement, il sera plus facile de donner un sens du positionnement par rapport au marquage global plutôt qu'au référencement. Prenant l'exemple de la localisation d'objets au point de vue humaine, le processus est souvent lié à intégrer des morceaux dispersés dans un macro-système, qui leur est souvent associé dans d'autre état. Cette méthodologie, décrite dans la section précédente en tant que tendance de forme, est utilisée pour transformer des ensembles en méta-systèmes, qui sont plus faciles à mémoriser et à organiser.

B. Approche de la couche cognitive dans un réseau de neurones

Cette recherche dans le domaine de la localisation d'objets, en relation avec la tendance attentive de la perception, nous conduit à examiner la capacité du réseau neuronal convolutifs profond à conserver des méta-systèmes pendant l'apprentissage et l'état opérationnel du système. Notamment, étant donné l'effet de la fusion des filtres et des features au niveau des couches convolutives, ainsi que la régression des données induites dans ces couches, les structures contextuelles accompagnant les parties élémentaires, qui concernent l'objectif principal, sont détruites en approfondissant le réseau.

Par conséquent, par l'implication des couches coopératives; qui s'occuperaient de rassembler une structure contextuelle lorsque le reste du réseau se chargera d'apprendre une caractéristique importante de la tâche à accomplir. Ensuite, nous visons à construire des couches plus intuitives pouvant livrer ce méta-système à un autre réseau de neurones, afin de résoudre des tâches plus complexes.

Notre contribution est donc de conserver le modèle présenté dans la section précédente, et nous suggérons de l'améliorer par l'intégration de la fonction neuronale et de logit comme décrit dans la figure 2.

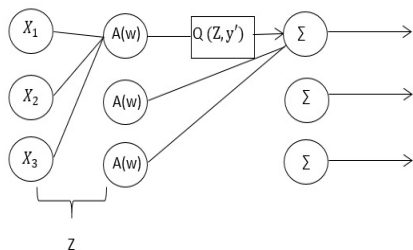


Fig. 2. La fonction d'agrégation de la couche cognitive

Ensuite, en considérant un vecteur Z , qui présente les poids de connexion du neurone i^{th} dans la couche cognitive; par l'application d'un fonction d'agrégation à ce vecteur en tant que fonction d'activation (équation 1), on obtient la valeur

maximale et la plus contribuant à la résolution du problème actuel.

$$Agr(X) = Max[X]_{ij} \quad (1)$$

Ensuite, nous effectuons le seuillage de sortie des neurones comme décrit dans (équation ref eq2). En conséquence, nous transmettons les valeur des données d'entrée les plus contributive aux couches suivantes.

$$Q(X, s) = Max(Div(X, s)) \quad (2)$$

Maintenant, en prenant un nombre plus élevé de valeurs d'entrée telles que quatre neurones, comme décrit dans la figure reffig: fig3, avec une couche cognitive impliquée avant les couches cachées, nous avons un nouveau model.

En effet, cela fournit une nouvelle structure qui se concentre sur l'apprentissage de fonctionnalités pertinentes en même temps que l'acquisition de l'aspect sélectif à travers la personnalisation des activations neuronales, en établissant des connexions et en évaluant le "Gradient descent" en utilisant le processus de "Backpropagation".

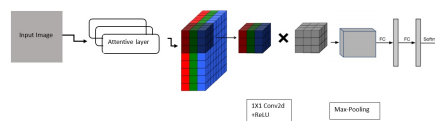


Fig. 3. Illustration de l'approche couche cognitive

Il est à noter que la couche cognitive mémorise les valeurs d'entrée les plus importantes, en relation avec les caractéristiques particulières de la tâche et conserve l'originalité des valeurs.

C. Revue de conception et de mise en œuvre

Nous mettons ici quelques diagrammes des résultats de perte de classification et de localisation tirés de Tensor-board lors de l'apprentissage de notre modèle de réseau de neurones d'attention et d'un réseau de neurones de convolution. Les ensembles de données sont des données d'enregistrement tensor-record constituées d'environ 600 images de train et 120 images de test de différents véhicules matriculés, dans différents champs de vision.

Le principal avantage de l'utilisation de cette structure est l'amélioration de la précision de localisation du modèle 99,18%, tandis que la précision maximale d'un rendu de classification est de 92%.

Si nous comparons les deux modèles, sur la base de la classification, il y a une similitude, car nous avons choisi de faire de la formation pour un seul objet, afin d'illustrer l'importance de cette structure dans la localisation (Figure

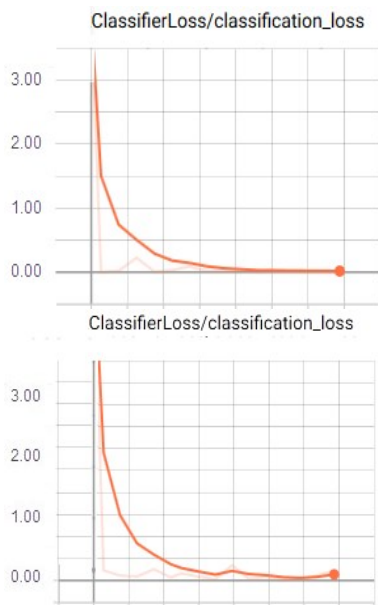


Fig. 4. Diagramme de perte de classification dans le reseau de neurone cognitif(haut) et le réseau de neurone convolutif (bas)

??).

Cependant, si nous comparons les deux modèles en nous basant sur les critères de localisation, nous avons constaté que le modèle introduisant la couche cognitive est plus exact; comme le montre la figure reffig: fig5.

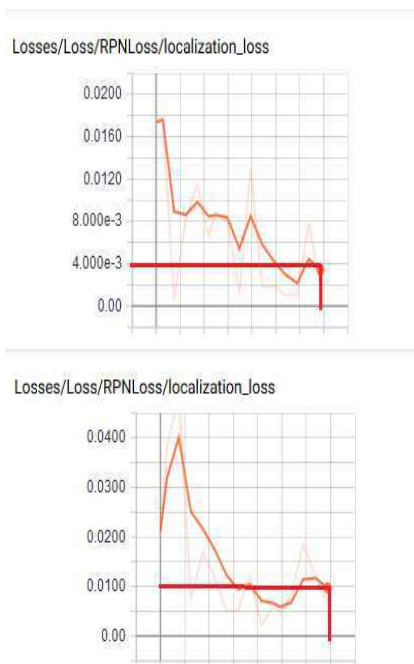


Fig. 5. Diagramme de perte de Localisation dans le reseau de neurone cognitif(haut) et le réseau de neurone convolutif (bas)

En effet, lors de la formation, notre modèle ne se termine pas

par " underfit " ; il garde un contexte général indépendamment de l'ensemble de données.

IV. CONCLUSION

Dans ce travail, une approche de psycho-analyse dans des réseaux de convolution a été introduite et mise en œuvre pour le profil de l'amélioration de l'intelligence artificielle. Cette implémentation a fait ses preuves dans l'analyse d'images à la fois pour la classification et pour la localisation.

Les travaux ultérieurs porteront sur l'application de ce fait à un problème plus intéressant, comme le traitement du langage naturel et la reconnaissance vocale.

REFERENCES

- [1] A. M. TURING, I.—COMPUTING MACHINERY AND INTELLIGENCE, *Mind*, Volume LIX, Issue 236, October 1950, Pages 433–460.
- [2] McCulloch, W.S. Pitts, W. *Bulletin of Mathematical Biophysics* (1943) 5: 115.
- [3] McDaniel, P., Papernot, N., Celik, Z. B. (2016). Machine Learning in Adversarial Settings. *IEEE Security Privacy*, 14(3), 68–72. doi:10.1109/msp.2016.51.
- [4] E. Goldstein, *Cognitive Psychology: Connecting Mind, Research and Everyday Experience*. Cengage Learning, p42-45, 2007.
- [5] É. Tremault, *Structure et sensation dans la psychologie de la forme*, chez Maurice Merleau-Ponty et William James , p. 577.2013.
- [6] Leng, J., Liu, Y. Chen, S. *Neural Comput Applic* (2019) 31: 9295.
- [7] Y. Zeng, *Context Aware Machine Learning* , arXiv:1901.03415 [cs, stat], janv. 2019.
- [8] D. Park, *Persons: Theories and Perceptions*. Springer Science Business Media, p57-58, 2013.
- [9] A. Singh, N. Thakur and A. Sharma, "A review of supervised machine learning algorithms," 2016 3rd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom), New Delhi, 2016, pp. 1310-1315.
- [10] W. Sun, S. Shao, R. Zhao, R. Yan, X. Zhang, et X. Chen, A sparse auto-encoder-based deep neural network approach for induction motor faults classification , *Measurement* , vol. 89, p. 171-178, juill. 2016.
- [11] A. Munoz, *Machine Learning and Optimization* , p. 14 .2014.
- [12] X. Sun, X. Ren, S. Ma, et H. Wang, meProp: Sparsified Back Propagation for Accelerated Deep Learning with Reduced Overfitting , in *Proceedings of the 34th International Conference on Machine Learning - Volume 70*, Sydney, NSW, Australia, 2017, p. 3299–3308.
- [13] Zhu, J., Wu, L., Hao, H., Song, X., Lu, Y. Auto-Encoder Based for High Spectral Dimensional Data Classification and Visualization. 2017 IEEE Second International Conference on Data Science in Cyberspace (DSC), 2017.
- [14] Heidari, M., Khuzani, A. Z., Hollingsworth, A. B., Danala, G., Mirniaharikandehi, S., Qiu, Y., ... Zheng, B. (2018). Prediction of breast cancer risk using a machine learning approach embedded with a locality preserving projection algorithm.
- [15] Aziz, R., Verma, C. K., Srivastava, N. (2016). A fuzzy based feature selection from independent component subspace for machine learning classification of microarray data.
- [16] Scholz M., Fraunholz M., Selbig J. (2008) *Nonlinear Principal Component Analysis: Neural Network Models and Applications*.
- [17] Ian J. Goodfellow, Yoshua Bengio et Aaron Courville, *Deep Learning*, MIT Press, 2016 . chap 6.
- [18] A. F. Agarap, *Deep Learning using Rectified Linear Units (ReLU)* , arXiv:1803.08375 [cs, stat], févr. 2019.

Analyse temps et fréquence des potentiels induits par les commutations des gradients lors de l'IRM

Karim Bouzrara¹, Odette Fokapu², Kais Jamoussi³, Ahmed Fakhfakh⁴

¹Centre de Recherche en Numérique de Sfax, 3021, Sfax, Tunisie
Université de Sousse, ENISo

Laboratoire des Technologies des systèmes Smart, LR16CRNS01, 3021, Sfax, Tunisie
¹karim.bouzrara17@gmail.com

³Laboratoire des systèmes électroniques avancés et de l'énergie durable
³kais.jamoussi@yahoo.fr

Laboratoire des Technologies des systèmes Smart, LR16CRNS01, 3021, Sfax, Tunisie
⁴ahmed.fakhfakh@enetcom.usf.tn

²UMR 7338, GB, Université de Technologie de Compiègne, Royallieu, BP 20529,
60205 Compiègne, France
²odette.fokapu@utc.fr

Abstract— Lors de l'Imagerie par Résonance Magnétique (IRM), les commutations des gradients de champ magnétique utiles à l'obtention des images génèrent parallèlement des tensions induites qui perturbent fortement les signaux électrophysiologiques recueillis simultanément. Dans un précédent article nous avons présenté un banc élaboré au laboratoire qui permet de recueillir *in vitro* ces « potentiels induits » [1]. Le présent travail est consacré à la recherche des propriétés temporelles, statistiques et fréquentielles de ces potentiels induits. Une étude de la stationnarité est proposée selon deux méthodes (KPSS et LMC) complétée par une estimation de la densité spectrale selon la méthode Welch. Les résultats montrent une stationnarité au sens faible. Des modifications importantes des caractéristiques fréquentielles apparaissent selon les séquences d'imagerie et l'orientation des coupes. Ce type d'information est à considérer dans la conception des algorithmes de débruitage afin d'améliorer sa robustesse.

Keywords— IRM, Potentiels induits par les commutations des gradients, stationnarité, densité spectrale de puissance

I. INTRODUCTION

Dans le but d'améliorer la qualité des images et d'élargir les champs d'application, les techniques d'IRM évoluent constamment. Ces évolutions engendrent des artefacts qui «polluent» les signaux électrophysiologiques recueillis simultanément. Ces signaux sont utiles pour la surveillance du patient et/ou la synchronisation des images. Les artefacts résultent d'interactions entre dispositifs électromagnétiques indispensables à l'obtention des images et les appareils de recueil de signaux pour le monitoring du patient [2-3]. Le signal électrophysiologique recueilli peut être modélisé comme étant la superposition de trois sources de potentiels:

$S(t) = S_e(t) + S_{B_0}(t) + S_{ind}(t)$ [3]. $S_e(t)$ représente le signal utile, $S_{B_0}(t)$ le potentiel induit par le champ magnétique statique B_0 et $S_{ind}(t)$ les tensions induites, par les commutations des gradients ; elles sont de forte amplitude et se retrouvent dans la bande passante des signaux $S_e(t)$. Les solutions préconisées dans la littérature ne sont pas complètement satisfaisantes [4-5]. Par ailleurs, pour limiter les perturbations, la bande passante des amplificateurs utilisés en IRM ne dépasse pas 30 Hz. De ce fait, les signaux ECG servent essentiellement au monitoring des sujets et à la synchronisation des images. Pourvoir disposer d'appareils ECG pour le diagnostic (bande de fréquence >30Hz), est d'actualité en recherche [6]. Ceci nécessite de nouvelles stratégies. Une meilleure connaissance du mécanisme de contamination des signaux devrait contribuer à l'élaboration de solutions de dépollution efficaces. Le dispositif expérimental que nous avons élaboré et le processus de traitement des «sources de bruit » liés aux commutations des gradients permettent ce type d'étude.

II. MATERIEL ET METHODE

A. Acquisition des potentiels induits

Le banc utilisé pour le recueil des potentiel induit est composé de différents modules compatible IRM comme le montre la figure 1.

Une description plus détaillée a été présentée dans un précédent article [1]. Ce banc offre différents types d'expérimentations. Cette étude nous a permis via un modèle de tissu conducteur placé dans le tunnel et munie d'électrodes de recueillir les potentiels induits après activation de séquences d'IRM. Dans ce cas, aucun signal n'est injecté dans le tunnel. Les potentiels induits sont prélevés à la sortie du filtre de bande passante (0.05-350Hz) et échantillonné à 10 kHz.

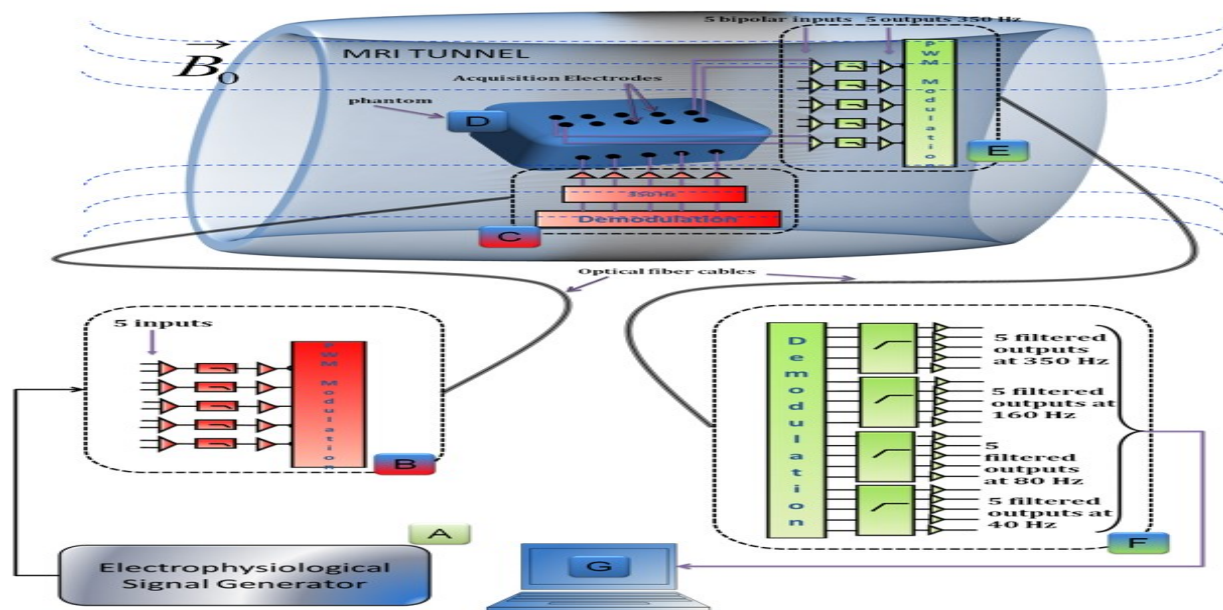


Fig. 1 Schéma synoptique du banc expérimental.

Ce banc comprend deux modules (B) et (C) pour la transmission, (E) et (F) pour la détection du signal. Un générateur de signaux électrophysiologiques (A) est utilisé pour simuler le signal injecté dans le tunnel IRM via le transmetteur (B), la fibre optique, et le récepteur amagnétique (C). Les signaux contaminés à la surface du fantôme (D) sont détectés par le transmetteur amagnétique (E) et sont transmis par une deuxième fibre optique à l'extérieur de la cage Faraday jusqu'au récepteur (E). Quand le générateur (A) est éteint, le système permet de capturer les potentiels induits par la commutation des gradients. Les signaux détectés sont ensuite acquis et traités à la station de traitement (G).

Les mesures ont été effectuées sur un GE Signa HDxt 1.5 IRM clinique Tesla. Les paramètres des séquences d'imagerie standards utilisées sont les suivantes:

FSE : 440/12/30/448x512 (TR/TE FOV/Mat)
 CINE : 9.4/5.1/256 x 128/34 x 25 (TR/TE FOV/Mat)

- *Segmentation du signal*

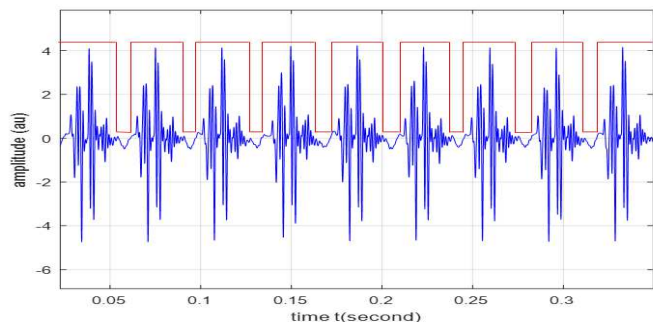


Fig. 2 Potentiels induits des séquences FSE coronal

Un algorithme simple de segmentation du signal a été développé pour extraire des époques du signal enregistré (Fig.2). Ces extraits correspondent à la partie dominante de la lecture des artefacts.

Les résultats de la segmentation sont illustrés dans la figure 3, ce qui montre la forme temporelle du potentiel induit FSE en coupe coronale. En plus d'une analyse globale en temps et en fréquence des enregistrements, les bouffées successives sont caractérisées.

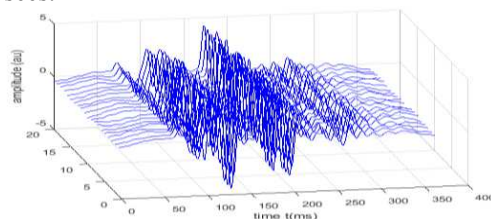


Fig. 3 Potentiels induits des séquences FSE coronal

B. Identification de la stationnarité et analyse spectrale

Par définition, un processus est dit strictement stationnaire si et seulement si ses moments statistiques sont indépendants dans le temps. Une série temporelle acquise n'aura jamais de moments de tout ordre, une raison pour envisager une définition plus faible de la stationnarité.

1) *Le test de stationnarité de Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin*: Ce test KPSS propose qu'un signal puisse être estimé par une somme d'une tendance déterministe, d'une marche aléatoire et d'une erreur stationnaire selon (2)

$$y_t = \delta(t) + \xi_t + \varepsilon_t \quad (2)$$

Où δ est la pente de la courbe linéaire de tendance, ε_t est un processus stationnaire et ξ_t est une marche aléatoire qui a comme équation (3) :

$$\xi_t = \xi_{t-1} + v_t \quad \text{Ou} \quad v_t \approx i.i.d. (0, \sigma_v^2) \quad (3)$$

2) *Le test de stationnarité de Leybourne et McCabe*

Leybourne et McCabe utilisent une version paramétrique du test de LM de l'hypothèse nulle de stationnarité contre la présence d'une racine unitaire. LMC test utilise le modèle structurel :

$$y(t) = c(t) + \delta t + b_1 y(t-1) + \dots + b_p y(t-p) + u_1(t)$$

$$c(t) = c(t-1) + u_2(t)$$

Où

$$u_1(t) \sim i.i.d. (0, \sigma_1^2)$$

$$u_2(t) \sim i.i.d. (0, \sigma_2^2)$$

et u_1 et u_2 sont indépendants l'un de l'autre.

Le modèle est équivalent au second ordre du modèle ARIMA (p, 1,1) de forme réduite.

$$(1-L)y(t) = \delta t + b_1(1-L)y(t-1) + \dots + b_p(1-L)y(t-p) + (1-aL)v(t) \quad (5)$$

où L est l'opérateur de décalage est

$$Ly(t) = y(t-l), \text{ et } v(t) \sim i.i.d. (0, \sigma^2) \quad (6)$$

L'hypothèse nulle est que $\sigma^2 = 0$ dans le modèle structurel, ce qui équivaut à $a = 1$ dans le modèle sous forme réduite. L'alternative est que $\sigma^2 > 0$ ou $a < 1$. Sous null, le modèle structurel est AR (p) avec l'interception c (0) et la tendance δt ; le modèle de forme réduite est une représentation du même processus sur-différenciés ARIMA (p, 1,1).

Les paramètres statistiques des tests de stationnarité sont illustrés dans le tableau suivant.

TABLEAU 1
 RESULTATS DES TESTS DE STATIONNARITE

p-value	0.01	0.05	0.1
Stationnarité en niveau	0.739	0.463	0.347
Stationnarité en tendance	0.216	0.146	0.119

Cette étude de stationnarité permet de déterminer les paramètres statistiques des potentiels induits. Afin de confirmer ses résultats, on a intérêt de savoir ses paramètres spectraux. La densité du spectre de puissance est estimée par la méthode de Welch. Les paramètres du spectre (fmean : la fréquence moyenne, fmed : la fréquence médiane, fmax : la fréquence maximale) du signal global et local sont calculés.

Dans la section suivante, nous allons présenter les résultats des tests de stationnarité ainsi que les résultats de l'analyse spectrale.

III. RESULTATS

Les résultats du test de stationnarité sont présentés dans le tableau 4.

TABLEAU 2
 RESULTATS DES TESTS DE STATIONNARITE

Séquence	KPSS	LMC	P value
Ciné	0.0020	-0.0720	> 0.1
FSE	0.0678	-2.5338	> 0.1
SPGR03	0.1118	-15.3288	> 0.1
SPGR05	0.1034	-28.2931	> 0.1

Les résultats des tests du tableau 2 peuvent confirmer que le potentiel induit en environnement IRM est stationnaire au sens faible, selon la règle de décision suivante

- Si η_u (ou η_τ) est inférieur à la valeur critique reportée dans le tableau 3, alors on accepte l'hypothèse nulle de la stationnarité.
- Si η_u (ou η_τ) est supérieur à la valeur critique reportée dans le tableau 1, alors on rejette l'hypothèse nulle de la stationnarité.

Les figures 4 illustrent les résultats de l'analyse spectrale.

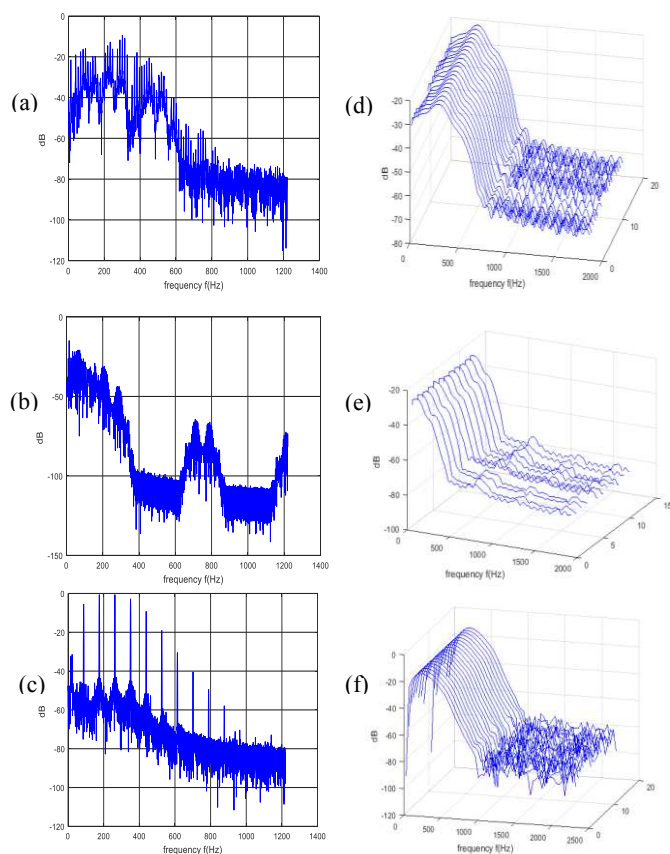


Fig. 4 Analyse spectrale

La figure 4 est une représentation spectrale (a) des séquences FSE coronal, (b) SPGR 05 et (c) Ciné sagittal dont (d), (e) et (f) sont les représentations tridimensionnelles respectives des segments (a), (b) et (c).

TABLEAU 3
 RESULTATS DE L'ANALYSE SPECTRALE

F(Hz)	Moyenne		Médiane		Maximale	
	Globale	locale	Globale	Locale	Globale	Locale
FSE coronal	248.2846	250.2769	273.4375	258.7891	300.2085	282.3203
Ciné sagittal	242.1070	233.8794	260.1460	245.3125	260.3667	245.3750
SPGR 03	91.3945	86.2871	106.6895	105.4688	15.0098	16.9036
SPGR 05	63.3566	65.1685	52.9785	54.6875	12.8926	10.8125

La représentation tridimensionnelle des spectres locaux montre la même allure pour tous les spectres. Ces derniers semblent avoir la même allure que celui du spectre globale. Ces constatations sont confirmées par les fréquences du tableau 3.

TABLEAU 4
 TAUX D'ERREUR RELATIVE

F(Hz)	Moyenne	Médiane	Maximale
FSE coronal	1	5	5
Ciné sagittal	3	5	5
SPGR 03	5	1	6
SPGR 05	2	3	16

Le tableau 4 illustre le taux d'erreur relative entre la fréquence globale et la fréquence locale. Les résultats indiquent un taux d'erreur dont la moyenne ne dépasse pas 5%.

En effet, les fréquences moyennes, médianes et maximales du spectre globale sont quasiment semblables par rapport à celle des spectres locaux, ce qui prouve que les signaux traités sont indépendants au cours du temps.

Ceci est à considérer un avantage dans l'élaboration d'un algorithme de débruitage fiable.

IV. Discussion et conclusion

Au long de cet article, nous avons commencé par la segmentation des potentiels induits recueillis dans un environnement IRM, ensuite, on a enchaîné par une étude de la stationnarité ainsi qu'une analyse spectrale. L'analyse spectrale des bouffées d'artéfacts prélevés dans le même enregistrement montrent des paramètres fréquentielles quasiment constants, ce qui confirme le caractère stationnaire des potentiels induits indiqué par les tests KPSS et LMC. En revanche lorsque l'on considère les issues de deux orientations de coupe à l'intérieur d'une même séquence on observe des variations importantes, des caractéristiques temporelles et fréquentielles. Les résultats acquis nous amènent à valider le processus de segmentation, l'étude de stationnarité et l'analyse spectrale sur des signaux in vivo. Ce type d'information est à considérer dans l'élaboration de l'algorithme de débruitage par exemple afin d'améliorer sa robustesse.

V. REFERENCES

[1] O.Fokapu, A.El-Tatar, "An Experimental Setup to Characterize MR Switched Gradient-Induced Potentials," IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL CIRCUITS AND SYSTEMS, VOL. 7, NO. 3, JUNE 2013.

[2] J. Felblinger and C. Boesch, "Patient monitoring in the MR environment," in INTERVENTIONAL MAGNETIC RESONANCE IMAGING, J. F. Debatin and G. Adam, Eds. Heidelberg, Germany: Springer-Verlag, 1997, pp.105–112.
 [3] J. Felblinger, J. Slotboom, R. Kreis, and B. Jung, "Restoration of electrophysiological signals distorted by inductive effects of magnetic field gradients during MR sequences," MAGN. RESON. MED., VOL. 41, NO. 4, PP. 715-721, APR. 1999.
 [4] Guillou A. Sellal JM. Ménétré S. Petitmangin G. Felblinger "Adaptive step size LMS improves ECG detection during MRI at 1.5 and 3 T MAGMA". 2017 DEC; 30(6):567-577. 2017
 [5] M. Schmidt, J W. Krug and G. "Rose Reducing of gradient induced artifacts on the ECG signal during MRI examinations using Wilcoxon filter". CURRENT DIRECTIONS IN BIOMEDICAL ENGINEERING 2016 - DOI 10.1515/cdbme-2016-0040
 [6] Dos Reis JE. Soullié P. Oster J., Palmero Soler E.Odille F. "Reconstruction of the 12 - lead ECG using a novel MR - compatible ECG sensor network4". MAGN RESON MED. 2019 JUN 14. DOI 10.1002/mrm.27854

Modélisation et Simulation Basées DEVS/SMA de Processus Industriels

Mohammed Redjimi

*Department of Computer Science,
20 August 1955 University of
Skikda, Algeria.
m.redjimi@univ-skikda.dz*

Résumé— Cet article présente une approche pour la modélisation et la simulation des systèmes complexes. Cette approche est basée sur la décomposition des systèmes considérés en sous-systèmes qui apparaît à deux niveaux: dans un premier temps, la décomposition concerne la division d'un système global en modèles atomiques et couplés basés sur le formalisme DEVS (Discrete Event System Specification). Les composants du système sont ainsi modélisés à l'aide des équations mathématiques DEVS. Cette étape permet la vérification formelle des sous-systèmes. Ensuite, les modèles DEVS obtenus sont traduits en agents et groupes d'agents selon l'approche Agent / Rôle / Groupe (AGR). Cette transformation est effectuée grâce à un ensemble de procédures et de fonctions permettant le passage du formalisme DEVS vers le semi-formalisme AALAADIN. L'implémentation du modèle finale se faisant sous MADKIT. Les principaux avantages de cette approche sont son adaptabilité à différents domaines, sa flexibilité, son extensibilité ainsi que la réutilisabilité des composants. Une version de ce travail est mise en œuvre à l'aide d'une extension de la plateforme du KIT de développement multi-agents (MAD-KIT). Une implémentation d'un simulateur d'une chaudière industrielle a été ainsi réalisée et il est opérationnel.

Mots-clés : systèmes complexes, spécification de systèmes à événements discrets (DEVS), modélisation et simulation, systèmes multi-agents (MAS), modèle AGR (agent / groupe / rôle), MAD-KIT.

I. INTRODUCTION

Un système est dit complexe lorsqu'il est composé d'un grand nombre d'entités en interaction, le comportement global de ce genre de système émerge de ces interactions [1,2]. La complexité croissante des systèmes industriels et les exigences des utilisateurs et développeurs ont conduit à l'introduction de nombreuses catégories de formalismes dans le processus de modélisation et de simulation [3]. En effet, pour les grands systèmes, il n'existe pas de méthodes de modélisation ni de formalisme unique pour aborder tous leurs aspects ou composants. On parlera, ainsi de multi-modélisation [4]. Ainsi, différents niveaux d'explication, différentes théories et différents formalismes ou langages, outils et plateformes dédiés sont nécessaires pour décrire correctement les différents aspects ou composants de tels systèmes. Dans les salles de contrôle des systèmes industriels complexes et ceci dans des domaines aussi variés que l'énergie ou la chimie, l'activité confiée à l'opérateur humain s'est déplacée d'une activité de contrôle manuel vers une activité essentiellement automatique de supervision et de contrôle.

L'activité de supervision et de contrôle [5,6] est complexe en raison des caractéristiques dynamiques des processus ainsi que le nombre très important de composants qui les composent, ce qui par conséquent, va

engendrer plus d'interactions et plus de complexité. À la différence des situations statiques où l'environnement ne change que sous l'effet des actions de l'opérateur, la dynamique d'un environnement évolutif impose des situations dynamiques que l'opérateur ne contrôle que partiellement.

La modélisation et la simulation d'un système réel permettent de manipuler, d'observer et d'améliorer la compréhension des phénomènes complexes. Ces derniers sont étudiés à différentes échelles comme pour la simulation des changements climatiques [7], des phénomènes physiques et des systèmes de trafic urbain...etc. La plupart des phénomènes modélisés atteignent aujourd'hui des complexités et des degrés de finesse élevés qui imposent l'utilisation de modèles et d'outils informatiques de plus en plus performants et flexibles.

La simulation informatique est l'un des outils permettant de simuler des phénomènes réels. Elle désigne un procédé selon lequel on exécute un programme informatique sur un ordinateur qui peut représenter les comportements, les interactions et tous les éléments d'un phénomène.

C'est dans ce cadre que se situe le travail présenté dans ce papier. L'approche proposée prône une démarche en deux phases consécutives pour la modélisation de processus : La première consiste dans la décomposition du phénomène à modéliser en modèles atomiques et couplés selon le formalisme DEVS (Discrete Event System specification) [8]. Dans la phase qui suit, les modèles atomiques sont automatiquement traduits en agents et les modèles couplés en groupes d'agents selon l'approche AGR (Agent, Groupe, Rôle). Une application de cette approche a été effectuée pour la conception et l'implémentation d'un simulateur d'un processus industriel, son contrôle et son suivi. Ce processus concerne le Générateur de vapeur avec le poste d'eau au niveau du complexe de liquéfaction du gaz naturel GLIK groupe SONATRACH SKIKDA.

La prochaine section présente, de façon succincte, les systèmes industriels et les systèmes multi-agents. La troisième section est consacrée à la présentation du formalisme DEVS. Dans la quatrième section, il sera question du procédé de génération de vapeur avec le poste d'eau et de sa modélisation formelle et semi-formelle. La cinquième section présente l'implémentation du simulateur. Enfin nous concluons notre article par une conclusion générale.

II. LES SYSTEMES INDUSTRIELS COMPLEXES ET LES SYSTEMES MULTI-AGENTS

Les sociétés modernes reposent sur des systèmes industriels de plus en plus sophistiqués que la maîtrise des technologies de l'information a notamment permis de concevoir, de développer et de mettre en œuvre. Une des raisons majeures de la complexité de ces systèmes industriels vient de ce qu'ils sont souvent eux-mêmes des systèmes de systèmes et qu'ils résultent donc de l'intégration de nombreux autres systèmes industriels relativement complexes.

Les systèmes multi-agents (SMA) [9] sont actuellement très largement utilisés pour la modélisation de ce type de systèmes et conduit dans la plupart du temps à des séries de simulations exploratoires, ce qui simplifie la construction, la maintenance et l'exécution de ces systèmes complexes.

A. La complexité d'un système industriel

Un système industriel est souvent classé comme système complexe, quand la hiérarchie de décomposition d'un tel système fait apparaître soit un grand nombre de sous-systèmes, soit des sous-systèmes de natures très différentes. Les deux principales sources de complexité d'un système industriel sont en effet en relation avec sa taille et l'hétérogénéité de ses composants ainsi que le nombre élevé d'interactions entre les éléments qui le constituent et l'environnement dans lequel il évolue [1,2,10]. Ces deux paramètres étant d'ailleurs le plus souvent présents en même temps dans un système industriel complexe.

La difficulté principale de la réalisation d'un système industriel complexe vient bien entendu de la nécessité de maîtriser concrètement les deux paramètres de complexité que nous venons d'énoncer. C'est là par excellence le domaine de l'intégration de systèmes, c'est-à-dire de la capacité à fabriquer un nouveau système industriel à partir de plusieurs systèmes existants. Intégrer un système consiste en effet, fondamentalement, à faire inter-fonctionner les nombreux composants hétérogènes de ce système de façon à obtenir un comportement global homogène (par rapport à son environnement) du système qui résulte de ce processus.

Le but de notre travail est de construire un simulateur informatique à base d'agent qui permette de traduire un système industriel complexe en un programme informatique qui peut représenter son comportement, son interaction et tout ce qu'il fait en réalité. Ceci à plusieurs fins telles que vérifier l'intégrité et le bon fonctionnement du système ou pour être utilisé comme moyen qui permette de maîtriser la complexité de ces systèmes.

B. Les systèmes Multi-Agents (SMA)

Les systèmes multi-agents sont à la base de la connexion de plusieurs domaines en particulier de l'intelligence artificielle, des systèmes informatiques distribués et du génie logiciel. C'est une discipline qui s'intéresse aux

comportements collectifs produits par les interactions de plusieurs entités autonomes et flexibles appelées agents, que ces interactions tournent autour de la coopération, de la concurrence ou de la coexistence entre ces agents. Un système multi-agent est un système distribué composé d'un ensemble d'agents [11]. Les SMA sont conçus et implantés idéalement comme un ensemble d'agents interagissant, le plus souvent, selon des modes de coopération, de concurrence ou de coexistence.

Un SMA est généralement caractérisé par :

- Chaque agent dispose d'un ensemble d'informations et de capacités de résolution de problèmes limités. il n'y a aucun contrôle global du système multi-agent ;
- les données sont décentralisées;
- le calcul est asynchrone.

D'autre part, et selon J. Ferber [11,12] :

- Un système multi-agents est un système composé des éléments suivants :

- Un environnement identifié et muni d'un système, c'est-à-dire un espace disposant généralement d'une métrique.
- Un ensemble d'objets passifs pouvant être perçus, créés, modifiés ou détruits par des agents.
- Un ensemble d'agents actifs.
- Un ensemble de relations, qui unissent des objets entre eux.
- Un ensemble d'opérations offrant la possibilité aux agents de percevoir, produire, consommer, transformer et manipuler des objets.
- Un ensemble de lois universelles qui sont des opérateurs chargés de représenter l'application des actions des agents sur le monde et la réaction du monde à ces actions.

III. LE FORMALISME DEVS

Le formalisme DEVS a été introduit par B.P. Ziegler dans les années soixante-dix [13]. C'est une approche de modélisation basée sur la théorie globale des systèmes. Cette approche a été adoptée et développée par une communauté internationale de chercheurs. Ce formalisme a été par la suite amélioré et adapté en tenant en compte plusieurs paramètres. Parmi les variantes du DEVS classique, on peut noter P-DEVS (Parallel DEVS), C_DEVS (Cellular DEVS),... [14].

Dans DEVS classique, on distingue deux types de modèles de base : les modèles atomiques et les modèles couplés. Les modèles atomiques sont basés principalement sur l'ensemble de leurs entrées, celui de leurs sorties, les états internes et externes et la fonction d'avancement du temps. Les modèles couplés sont construits en connectant plusieurs modèles atomiques.

A. Les modèles atomiques DEVS

Un modèle atomique DEVS est décrit par l'équation suivante :

$$\text{Atomic_DEVS} = \langle X; Y; S; \delta_{int}; \delta_{ext}; t_a; \lambda \rangle \quad (1)$$

X est l'ensemble des événements d'entrée.

Y est l'ensemble des événements de sortie.

S est l'ensemble des états.

$\delta_{int} : S \rightarrow S$: est la fonction de transition interne qui fait évoluer le système d'un état à un autre de manière autonome. Cela dépend du temps écoulé dans l'état actuel.

$\delta_{ext} : Q \times X \rightarrow S$: est la fonction de transition externe qui se produit lorsque le modèle reçoit un événement externe. Il renvoie le nouvel état du système en fonction de l'état actuel.

$Q = \{(s, e) \mid s \in S, 0 \leq e \leq t_a(s)\}$ est l'état total défini, e est le temps écoulé depuis la dernière transition.

$\lambda : S \rightarrow Y$: est la fonction de sortie du modèle. Elle est activée lorsque le temps écoulé dans un état donné est égal à sa durée de vie.

$t_a(s)$ montre la vie d'un état "s" du système. C'est le temps pendant lequel le modèle va rester dans cet état si aucun événement externe ne se produit.

3.2. Les modèles couplés DEVS

L'équation (2) décrit un modèle DEVS couplé :

$$\text{CoupledDevs} = \langle X_{self}; Y_{self}; D; \{Md/d \in D\}; EIC; EOC; IC \rangle \quad (2)$$

Self: est le modèle lui-même.

Xself est l'ensemble des entrées du modèle couplé.

Yself est l'ensemble des sorties du modèle couplé.

D est l'ensemble des noms associés aux composants du modèle, self n'est pas en D.

$\{Md / d \in D\}$ est l'ensemble des composants du modèle couplé.

EIC, EOC et IC définissent la structure de couplage dans le modèle couplé.

EIC : L'ensemble des liens d'entrée. Ils connectent le modèle couplé à ses composants.

EOC : Les liens de sortie. Ils connectent les composants au modèle couplé.

IC définit le couplage interne. Il connecte les sorties des composants avec les entrées d'autres composants du même modèle couplé. Cependant, aucune boucle de rétroaction directe n'est autorisée. Cela signifie qu'un port de sortie d'un composant (modèle) ne peut pas être connecté à un port d'entrée du même composant.

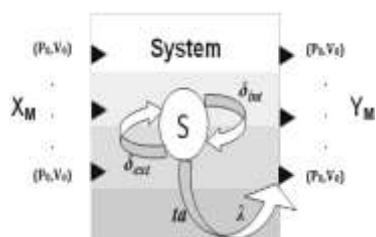


Fig. 1. Modèle atomique DEVS

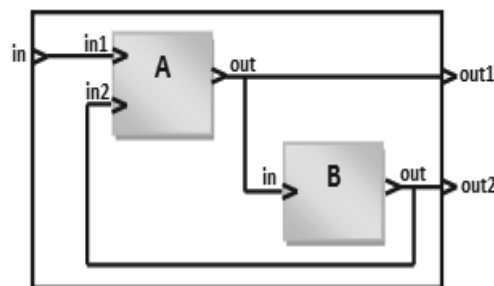


Fig. 2. Modèle DEVS couplé (A et B sont des modèles atomiques ou couplés).

B. La modélisation DEVS

La force de DEVS se résume dans sa capacité à exprimer, grâce au concept d'abstraction appliqué à chaque niveau en partant des modèles atomiques, la collaboration d'un ensemble de modèles où chacun interagit avec les autres. Bien qu'indépendant de la mise en œuvre, DEVS fournit une vision modulaire et hiérarchisée des modèles dynamiques. Les événements générés par un modèle peuvent prendre des valeurs dans différents domaines et peuvent être des stimuli pour d'autres modèles. Ainsi, Comme le montre B. P. Zeigler [8,13], nous pouvons prouver qu'il existe un modèle DEVS pour tous les événements discrets. Mais on peut aller plus loin ; en fait, DEVS peut être «universel» [15], permettant ainsi le couplage de modèles et de formalismes décrits comme des paradigmes hétérogènes. L'idée principale est que les modèles sont considérés comme des boîtes noires qui n'ont de lien avec le monde extérieur que par le biais de ports d'entrée et de sortie pour échanger des événements et des valeurs. Avec cette fonctionnalité abstraite, plusieurs modèles peuvent être couplés tout en profitant de la réutilisation des modèles existants. Il est également possible d'effectuer des vérifications formelles des modèles DEVS, ce qui représente une aide précieuse pour la conception de systèmes. Le couplage de modèles basés sur DEVS est une tâche typique. Cependant, les modèles non-DEVS nécessitent un effort supplémentaire pour être couplés. Deux méthodes existent pour incorporer un modèle non-DEVS dans DEVS : la co-simulation et la transformation [16,17]. La transformation de modèles non-DEVS vers le système DEVS permet de spécifier des modèles dans un langage uniforme. Vangheluwe [17] représente les différentes transformations possibles en utilisant un graphe de transformation du formalisme «FTG». Dans le cas de la co-simulation, qui est normalisée, on considère la communication entre simulateurs et non les spécifications du modèle. Plusieurs travaux tels que l'architecture de haut niveau (HLA) [18] entrent dans ce cadre.

IV. MODÉLISATION DE L'APPLICATION

L'objectif de ce travail est de réaliser un simulateur opérationnel du système de contrôle réparti (DCS) du processus industriel de contrôle d'une chaudière utilisée dans le complexe GL1/K.

Les trois principaux composants du processus à modéliser et à simuler sont les suivants : le compresseur, la chaudière et l'alimentation en eau.

Le processus est composé de deux composants principaux : l'eau d'alimentation fournissant les quantités d'eau appropriées demandées par la deuxième entité : la chaudière, qui produit la vapeur nécessaire pour d'autres processus industriels (turbocompresseurs, turbines ...). Les figures 3 et 4 illustrent ce système.

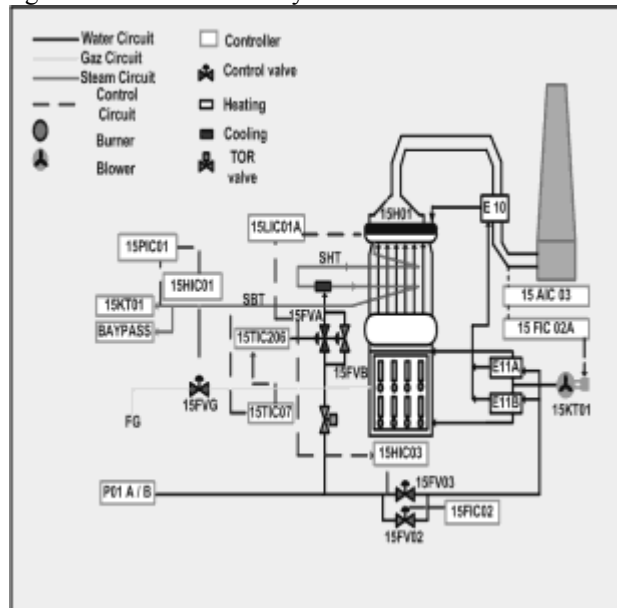


Fig.3. Dessin technique du générateur de vapeur.

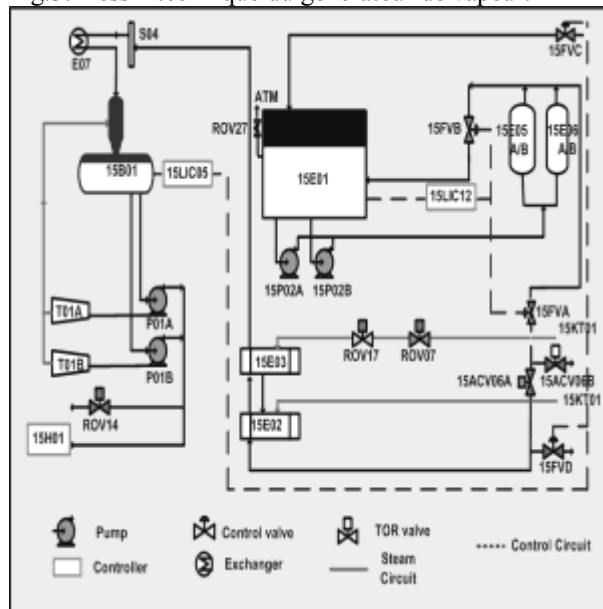


Fig. 4. Dessin technique de l'alimentation en eau

A. La station d'alimentation en eau

Cette station alimente le générateur de vapeur en eau d'alimentation. Elle comprend :

- Le condenseur (15E01).
- le dégazeur (15B02).
- Le réservoir d'eau d'alimentation (15B01).

B. La chaudière

Une chaudière est un générateur de vapeur. Son but est d'augmenter la température de l'eau jusqu'au changement de son statut, c'est-à-dire jusqu'à ce qu'elle devienne de la vapeur, puis la porter à la pression et à la température correctement définies. La figure 3 montre le dessin technique de ce processus.

Dans la structure simplifiée d'une chaudière, on peut distinguer :

- Une structure en métal avec sa garniture et une enveloppe externe souvent en maçonnerie.
- La chaudière : tubes, box arrière, écrans, spray, super radiateurs, ballons...
- La chambre de combustion : brûleurs, circuits d'air et auxiliaires.

C. Régulation assurant la production de vapeur

Cinq conditions sont nécessaires pour assurer une production adéquate de vapeur :

1. Régulation du chauffage (un facteur air-gaz correct).
2. Contrôle du débit de combustible (15FVG).
3. Contrôle du débit d'air (15KT01).
4. Régulation du niveau du ballon (15H01) à 50%.
5. Contrôle de la température de la vapeur surchauffée (495 °C).

D. Modèle DEVS du simulateur industriel

Pour modéliser notre système, nous avons utilisé dans une première phase le formalisme DEVS. Après une étude minutieuse, nous avons dégagé quatre modèles couplés qui composent le système considéré. Chaque modèle couplé est composé d'un ensemble de modèles atomiques. La figure 6 représente la structure générale du simulateur basée sur le modèle DEVS suggéré.

La libération des perturbations est effectuée par l'opérateur qui contrôle le système en obtenant des instructions à partir de la charge du simulateur.

E. Le modèle couplé 'alimentation'

La décomposition sur les modèles atomiques DEVS de l'alimentation couplée assure le fonctionnement de l'alimentation en eau :

- Modèle (15LIC05) : affiche le régulateur (15LIC05). Son rôle consiste à contrôler le réservoir. Le régulateur (15LIC05) envoie les ordres d'ouverture et de fermeture (o_{fw}) à la vanne 15FVC jusqu'à ce que le niveau mesuré soit égal au niveau souhaité (65%).
- Modèle (15B01) : affiche le réservoir (15B01). Son rôle consiste à vérifier le niveau d'eau (tl) dans le réservoir.
- Modèle (15FVC) : Affiche la vanne (15FVC). Cette vanne contrôle le débit d'eau (c_{w_f}) entrant dans le condenseur.

F. Le modèle couplé 'condensation'

Décomposition du modèle couplé condensation en un ensemble de modèles atomiques DEVS pour effectuer l'opération de condensation de l'eau.

- Modèle (15LIC12) : affiche le régulateur (15LIC12). Son rôle consiste à contrôler le condenseur. Le régulateur (15LIC12) envoie les ordres du système d'ouverture et de fermeture (o_{cn}) vers la vanne 15FVA jusqu'à ce que le niveau mesuré soit égal au niveau souhaité (65%).

- Modèle (15E01) : affiche le condenseur (15E01). Son rôle consiste à vérifier la variation du niveau d'eau (c_l) dans le condenseur.
- Modèle (15FVA) : Affiche la vanne (15FVA). Son rôle est de contrôler le débit d'eau (t_w_f) qui va vers le réservoir.

G. Le modèle couplé 'combustion'

Ce modèle est constitué d'un ensemble de modèles atomiques DEVS permettant d'effectuer l'opération de combustion :

- Modèle (15HIC01) : affiche le régulateur (15HIC01). Son rôle est de contrôler la combustion et de réguler le débit de vapeur (v_f).
- En fait, si ce débit n'est pas conforme à la charge de la chaudière, il envoie des ordres d'ouverture et de fermeture (o_cm) aux ventilateurs turbo (15KT01) et à la vanne 15FVG pour atteindre les consignes souhaitées.
- Modèle (15KT01) : affiche le ventilateur turbo (15KT01). Son rôle est de contrôler le flux d'air (a_f).
- Modèle (15FVG) : Affiche la vanne (15FVG). Son rôle est de contrôler le débit de gaz (g_f).

H. Le modèle couplé 'hydraulique'

- Modèle (15LIC01A) : affiche le régulateur (15LIC01A). Son rôle est de réguler le niveau du réservoir. Il envoie les commandes d'ouverture et de fermeture (o_hy) vers la vanne 15FV03 jusqu'à ce que le niveau mesuré soit égal au niveau souhaité (50%).
- Modèle (15FV03) : Affiche la vanne (15FV03). Son rôle est de contrôler le débit d'eau d'alimentation (w_f) provenant de la station d'eau.
- Modèle (15H01): affiche le réservoir (15H01). Son rôle est de calculer le niveau du ballon (b_l) en utilisant les valeurs fournies par le régulateur (15HIC01) et la vanne 15FV03.
- Outre ces modèles, nous en considérons deux autres : le modèle APM, qui assure la coopération et la surveillance internes du système et l'interface utilisateur graphique GUS qui fournit les entrées, les sorties et les commandes de données. Ces modèles DEVS constituent le modèle couplé 'perturbation'.

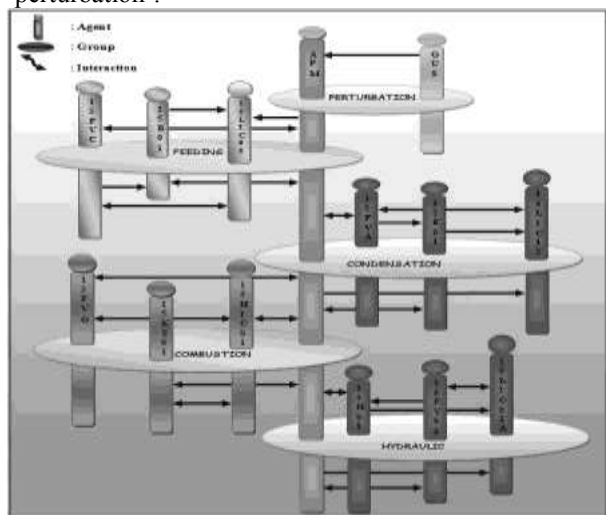


Fig. 5. Modèle organisationnel AALAADIN

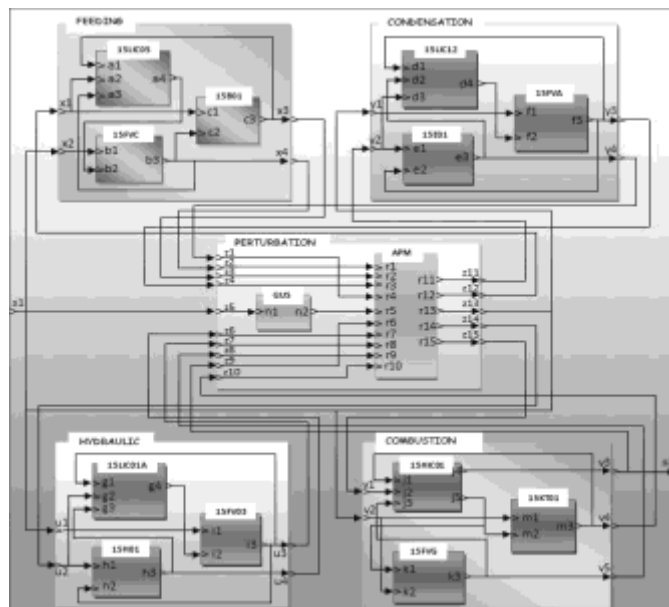


Fig. 6. Modèles DEVS du simulateur.

15LIC12
$InPorts = \{ "d1", "d2", "d3" \}$
$X = \{ (d1, t_w_f), (d2, c_l), (d3, c_w_f) \}$
$OutPorts = \{ "d4" \}$
$Y = \{ (d4, o_{cn}) \}$
$\delta_{ext}(phase, \sigma, e, X) =$ ("active", condensation time) if phase = "passive" (phase, $\sigma - e$) otherwise
$\delta_{int}(phase, \sigma) =$ ("passive", ∞) if 15LIC12.InPorts.Values = \emptyset ("active", condensation time) otherwise
$\lambda("active") = o_{cn}$

Fig. 7. Spécification DEVS du régulateur 15LIC12.

I. Passage du modèle DEVS vers le système multi-agent (SMA) AGR :

Pour effectuer la transformation des modèles DEVS vers le modèle AGR, un certain nombre d'algorithmes ont été mis au point et programmés et implémentés en JAVA (étant donné que l'application concernée est programmée sous MADKIT). Le tableau ci-dessous (Table 1) illustre les principaux groupes.

TABLE 1. GROUPES ET AGENTS.

Groupe de perturbation : APM, GUS
Groupe d'alimentation : 15FVC, 15B01, 15LIC05
Groupe de condensation : 15FVA, 15E01, 15LIC12
Groupe de combustion : 15FVG, 15KT01, 15HIC01
Groupe hydraulique : 15H01, 15FV03, 15LIC01A

La figure 5 Présente la structure organisationnelle AALAADIN du système à modéliser : les agents, les groupes et les interactions entre agents et groupes y sont clairement exprimés.

V. IMPLEMENTATION

L'implémentation multi-agent du simulateur est réalisée grâce à la plateforme MadKit [19], étant donné que cette plateforme repose sur le modèle Aalaadin [20]. Nous allons présentons dans ce qui suit les interfaces de la section générateur de vapeur et la section poste d'eau qui permettent à l'utilisateur de conduire l'opération de régénération de vapeur et l'alimentation de la chaudière avec l'eau déminéralisée en publiant les différents consignes aux organes de régulation et suivre le fonctionnement des processus comme le montre les figures suivantes :

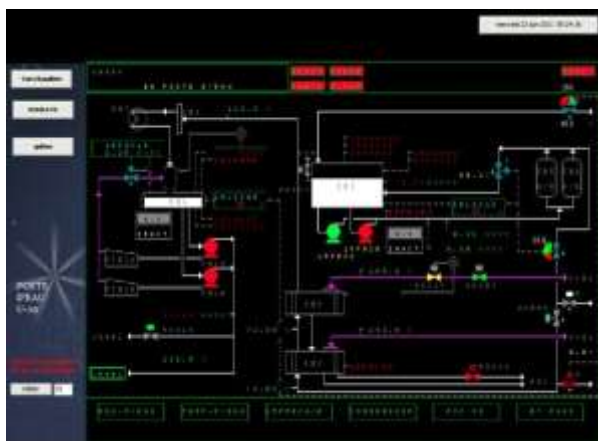


Fig. 8. Interface du simulateur section Poste d'Eau

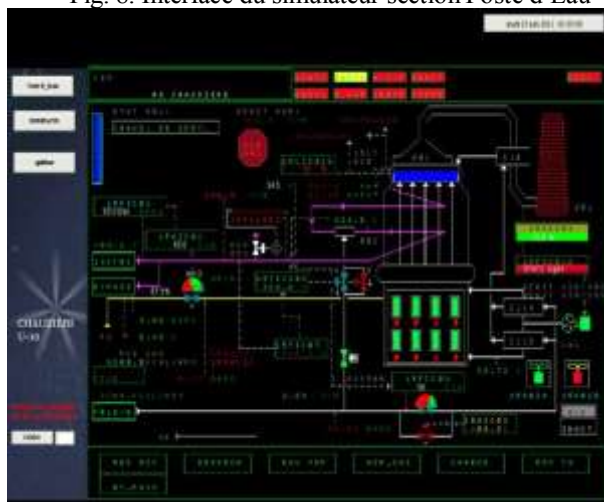


Fig. 9. Interface du simulateur section Chaudière

VI. CONCLUSION

La conception et le développement d'un système multi-agent (SMA) sont des problèmes complexes car ils nécessitent la prise en compte de plusieurs parties du système qui peuvent souvent être abordées sous différents angles. Le concepteur doit identifier l'ensemble des problèmes à résoudre et trouver des modèles multi-agents pour leur résolution.

Dans notre système nous avons utilisé la plateforme Mad-Kit qui se base sur le modèle organisationnel Aalaadin. Dans ce modèle, les concepts organisationnels tels que : les groupes, les rôles, les structures, les

dépendances, etc. sont considérés comme les briques de base qui permettront le développement des systèmes hétérogènes.

Ce simulateur peut être utilisé comme un assistant de formation et d'apprentissage destiné aux opérateurs novices, travailleurs nouveaux recrutés et stagiaires leur permettant de comprendre et de simuler le fonctionnement du processus de génération de vapeur avec le poste d'eau sans agir sur le système réel et ne pas causer l'arrêt des procédés ce qui engendrerait des pertes et dommages importants.

REFERENCES

- [1] G. Weisbuch, "Complex systems dynamics". CRC Press, 2018.
- [2] M. Mitchell, , & M. Newman, "Complex systems theory and evolution". Encyclopedia of evolution, 2002, pp. 1-5.
- [3] W. Chapman, "Engineering modeling and design", Routledge, 2018.
- [4] R. Fujimoto, "Parallel and distributed simulation", In 2015 Winter Simulation Conference (WSC), IEEE, 2015, December, pp. 45-59.
- [5] M. Hawryluk, M. Kaszuba, Z. Gronostajski, & P. Sadowski, "Systems of supervision and analysis of industrial forging processes" *Eksploracja i Niezawodność*, 2016, 18(3).
- [6] R. G. Jacquot, "Modern digital control systems", Routledge, 2019.
- [7] J. F. Scinocca, et al. "Coordinated global and regional climate modeling", *Journal of Climate*, 29(1), 2016, pp. 17-35.
- [8] A. I. Concepcion, & B. P. Zeigler, "DEVS formalism: A framework for hierarchical model development", *IEEE Transactions on Software Engineering*, 14(2), 1988, pp. 228-241.
- [9] J. Ferber, & G. Weiss, "Multi-agent systems: an introduction to distributed artificial intelligence", Vol. 1, Reading: Addison-Wesley, 1999.
- [10] I. H. Garbie, & A. Shikdar, "Complexity level in industrial firms: case studies and implementation", In Proceedings of the 2010 international conference on industrial engineering and operations management (IEOM 2010), 2010, January, pp. 9-10, Dhaka, Bangladesh: International University of Bangladesh.
- [11] J. Ferber, "Les systèmes multi-agents: vers une intelligence collective", InterEditions, 1997.
- [12] J. Ferber, "Les systèmes multi-agents : Un aperçu Général", revue TSI (Techniques et science Informatique), 1997.
- [13] B. P. Zeigler, T. G. Kim, & H. Praehofer, "Theory of modeling and simulation", Academic press, 2000.
- [14] G. A. Wainer, et al. "An Introduction to DEVS Standardization", *Discrete-Event Model. Simul. Theory Appl*, 393, 2010.
- [15] B. P. Zeigler, "Multifaceted modeling methodology: Grappling with the irreducible complexity of systems", *Behavioral Science*, 29(3), 1984, pp. 169-178.
- [16] H. Vangheluwe, J. Lara, et P. Mosterman, "An introduction to multiparadigm modelling and simulation", AIS 2002 Conference, Lisboa, Portugal, volume 1, pp. 9-20, 2002.
- [17] H. Vangheluwe, "DEVS as a common denominator for multiformalism hybrid systems modelling", *Conférence IEEE International Symposium on Computer-Aided Control System Design*, Alaska, 1(1), 2000, pp. 129-134.
- [18] A. Garro, A. Falcone, A. D'Ambrogio, & A. Giglio, "A Model-Driven Method to Enable the Distributed Simulation of BPMN Models", In 2018 IEEE 27th International Conference on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises (WETICE), IEEE, 2018, June, pp. 121-126.
- [19] www.madkit.org
- [20] J. Ferber, & O. Gutknecht, "Aalaadin: a meta-model for the analysis and design of organizations in multi-agent systems", rapport de recherche. Lirmm, univ. de Montpellier, 1997.

Sur les Implémentations de Détecteurs de Défaillances dans les Systèmes Distribués Asynchrones

Hamouma MOUMEN ^{#1}, Souheila BOUAM ^{#2}

[#]University of Batna 2
Batna 05000, Algeria

¹h.moumen@univ-batna2.dz

³s.bouam@univ-batna2.dz

Abstract— Les implémentations classiques des détecteurs de défaillances se fondent sur des hypothèses de synchronie supplémentaires telles que le synchronisme partiel. Contrairement à ceux-ci une autre approche pour implémenter les détecteurs de défaillances a été proposée : elle se base sur des propriétés comportementales sur le flux de messages échangés. Les approches précédentes ne sont pas antagonistes et peuvent être combinées dans une approche hybride implémentant les détecteurs de défaillances inéluctables.

Dans ce travail, nous nous focalisons sur la conception des protocoles implémentant les détecteurs de défaillances. Nous présentons d'abord une introduction et une synthèse sur les détecteurs de défaillances utilisés pour les systèmes asynchrones. Nous proposons ensuite une comparaison entre les différentes approches implémentant les détecteurs de défaillances.

Nous proposons, également, un protocole hybride implémentant \diamond S.

Keywords— *Systèmes distribués asynchrones, algorithme distribué, tolérance aux fautes, crash de processus, détecteurs de défaillances non fiables, problèmes d'accord.*

I. INTRODUCTION

This De nos jours, les réseaux informatiques sont omniprésents dans notre vie quotidienne, et notre société est devenue de plus en plus dépendante des systèmes informatiques répartis, fiables qui assurent un haut degré de disponibilité. La sûreté de fonctionnement, c.-à-d., la fiabilité et la disponibilité, de tels systèmes est devenue un objectif de première importance. Cette importance a été produite pour répondre aux exigences de certains domaines tels que les finances, le commerce électronique, le contrôle industriel, la télécommunication, etc.

Un système distribué typique peut être structuré comme un ensemble de processus,

s'exécutant dans des postes différents, fonctionnant selon des conditions fonctionnelles spécifiques. Pendant que les systèmes deviennent plus distribués, ils deviennent également plus complexes et doivent traiter de nouveaux genres de problèmes tels que la défaillance des processus et des canaux de communication. Ainsi, gérer les systèmes distribués est une tâche difficile puisqu'on doit traiter la transmission distante et les divers types de défaillances qui peuvent résulter de la distribution.

L'avantage principal d'un système distribué est sa tolérance aux défaillances. Dans un système distribué, les services peuvent être répliqués sur plusieurs ordinateurs, ainsi la panne d'un ordinateur n'affecte pas le fonctionnement du système. Cet avantage a une importance fondamentale pour développer des systèmes qui fournissent des services fiables.

Dans un système distribué, la tolérance aux fautes est basée sur la réplication et les protocoles d'accord [GS97]. En répliquant les composants critiques du système, nous rendons la totalité du système plus fiable que ses parties. La réplication des composants soulève une question sur la manière de coordination entre ces répliquas. Ceci est réalisé grâce aux protocoles d'accord. Un tel accord est nécessaire pour garantir la cohérence du système, par exemple, un seul serveur logique peut se comporter comme un groupe de serveurs répliqués.

Beaucoup de problèmes d'accord sont liés au problème de consensus [1, 2]. Le consensus est un paradigme fondamental pour les calculs distribués tolérants aux fautes. Informellement, le consensus permet aux processus de prendre une décision commune, qui dépend de leurs valeurs initialement proposées, en dépit des défaillances.

Le consensus peut être utilisé comme une brique de base pour résoudre plusieurs autres problèmes d'accord, tels que la diffusion atomique

[3, 4], la validation atomique [5], la gestion de groupes [6], l'élection d'un leader [7].

Le problème du consensus est sujet à des recherches intensives. Fisher, Lynch, et Paterson ont montré que le consensus ne peut pas être résolu, d'une manière déterministe, dans un système distribué asynchrone avec des canaux de communication fiables, même s'il y a un seul processus défaillant [8].

Une approche élégante et modulaire pour résoudre ce résultat d'impossibilité a été proposée par Chandra et Toueg [1]. Elle est basée sur l'idée d'augmentation du modèle de calculs distribués asynchrone avec un mécanisme externe de détection de défaillances qui peut faire des erreurs. En particulier, ce mécanisme spécifie le concept de détecteur de défaillance non fiable pour un système distribué asynchrone avec des défaillances par arrêt définitif.

Depuis que la notion de détecteur a été proposée par Chandra et Toueg [1], un grand intérêt lui a été porté, d'abord au niveau théorique pour savoir quelles sont les propriétés minimales que ceux-ci devraient exhiber pour résoudre un problème donné surtout les problèmes dites d'accord (et aussi quelles formes devrait prendre le détecteur de défaillances).

Un effort considérable a aussi été porté sur la conception de solutions algorithmiques fondées sur

les détecteurs de défaillances qui ont des propriétés intéressantes quant à leur modularité de conception et la facilité d'établissement de preuve de correction.

Enfin, les problèmes d'accord sont réputés sans solution dans les systèmes répartis asynchrones, l'usage d'un détecteur de défaillances ne saurait les rendre solvables, à moins que le détecteur lui-même ne soit pas implémentable. Ceci dit, des implémentations de ceux-ci ont été proposées soit en supposant que le système jouit de propriétés de synchronie supplémentaires soit que l'implémentation n'est censée être correcte qu'avec une certaine probabilité. Deux familles d'implémentation existent : celles qui utilisent le temps physique [9, 10] et celles qui ne l'utilisent pas [11] et en fin on a des solutions hybrides [12].

Organisation de l'article

Cet article discute les trois familles d'implémentation des détecteurs de défaillances telles que la famille d'implémentations qui utilisent le temps physique, la famille d'implémentations qui ne l'utilisent pas, et la famille hybride. Il présente, également, une évaluation pour ces trois familles en termes de quelques paramètres et quelques hypothèses. Finalement, il présente un protocole, avec sa preuve de correction, hybride implémentant des détecteurs de défaillances de la classe $\diamond S$.

REFERENCES

- [1] T. D. Chandra and S. Toueg. Unreliable failure detectors for reliable distributed systems. *Journal of the ACM*, 43(2):225-267, March 1996. A preliminary version titled "Unreliable failure detectors for asynchronous systems" appeared in the 10th Annual ACM Symposium on Principles of Distributed Computing (PODC), August 1991, 325-340.
- [2] M. Pease, R. Shostak, and L. Lamport. Reaching agreement in the presence of faults. *Journal of ACM*, 27(2):228-234, April 1980. S. Zhang, C. Zhu, J. K. O. Sin, and P. K. T. Mok, "A novel ultrathin elevated channel low-temperature poly-Si TFT," *IEEE Electron Device Lett.*, vol. 20, pp. 569-571, Nov. 1999.
- [3] F. B. Schneider. Implementing Fault Tolerant Services Using the State Machine Approach: A Tutorial. *ACM Computing Surveys*, 22(4):299-319, December 1990.
- [4] V. Hadzilacos and S. Toueg. Reliable broadcast and related problems. *Journal Of ACM*, pages 97-145, 1993.
- [5] R. Guerraoui. - Revisiting the relationship between non-blocking atomic commitment and consensus. In *9th Intl. Workshop on Distributed Algorithms (WDAG-9)*, Springer Verlag, LNCS 972, September 1995, pp. 87-100.
- [6] C. Malloth. Conception and Implementation of a Toolkit for Building Fault-Tolerant Distributed Applications in Large Scale Networks. PhD thesis, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Switzerland, 1996.
- [7] L. Sabel and K. Marzullo. *Election Vs. Consensus in Asynchronous Systems*. Technical Report TR95-1488, Cornell Univ, 1995. Also, Technical Report CS95-411, UCSD, 1995.
- [8] M. Fisher, N. Lynch, and M. Paterson. Impossibility of distributed consensus with one faulty process. *Journal of the ACM*, 32(2):374-382, 1985.
- [9] M. K. Aguilera, W. Chen, and S. Toueg. Heartbeat: A timeout-free failure detector for quiescent reliable communication. In *Proceedings of the 11th International Workshop on Distributed Algorithms (WDAG'97)*, pages 126-140. LNCS, Springer-Verlag, September 1997.
- [10] Marcos K. Aguilera, Carole Delporte-Gallet, Hugues Fauconnier, and Sam Toueg. Stable leader election. *Lecture Notes in Computer Science*, 2180:108-122, 2001.
- [11] Mostefaoui A., Mourgaya E., and Raynal M., Asynchronous Implementation of Failure Detectors. *Proc. Int. IEEE Conference on Dependable Systems and Networks (DSN'03)*, pp.351-360, 2003
- [12] Mostefaoui A., Powell D., and Raynal M., A Hybrid Approach for Building Eventually Accurate Failure Detectors. *Proc. 10th IEEE Int. Pacific Rim Dependable Computing Symposium (PRDC'04)*, pp. 57-65, 2004.

