

**DOI:**

<b>Title:</b>	SYSTEM MODELING OF A CONBUSTION ENGINE BASED ON STRUCTURED ANALYSIS AND REAL TIME METHOD
<b>Authors:</b>	Rania BEN MAHJOUR Oumayma BEN AMARA Mohamed Najeh LAKHOUA

**Section:** ENGINEERING

**Issue:** 1(19)/2020

<b>Received:</b> 15 September 2020	<b>Revised:</b> No
<b>Accepted:</b> 14 December 2019	<b>Available Online:</b> 15 March 2020

Paper available online [HERE](#)

## SYSTEM MODELING OF A CONBUSTION ENGINE BASED ON STRUCTURED ANALYSIS AND REAL TIME METHOD

**Rania BEN MAHJOUB<sup>1</sup>**  
**Oumayma BEN AMARA<sup>2</sup>**  
**Mohamed Najeh LAKHOUA<sup>3</sup>**

---

### ABSTRACT:

*THIS RESEARCH WORK CONSISTS OF THE ANALYSIS AND THE MODELING OF A COMBUSTION ENGINE BASED ON THE STRUCTURED ANALYSIS AND REAL TIME METHOD (SA-RT). WE EMPHASIZE OUR WORK ON EXPLAINING THE SYSTEM DIAGRAMS OF THE CASE STUDY. THEN, WE WILL HIGHLIGHT TWO MODELS OF THIS METHOD: MODEL OF THE ENVIRONMENT AND MODEL OF THE BEHAVIOR ON THE BASIS OF DIFFERENT DIAGRAMS SUCH AS THE CONTEXT DIAGRAM, THE PRELIMINARY DIAGRAM, THE CONTROL DIAGRAM AND THE STATE / TRANSITION DIAGRAM.*

---

**KEY WORDS:** COMBUSTION ENGINE, ANALYSIS AND MODELING, SA-RT METHOD.

### INTRODUCTION

Le système temps réel réagit dans un temps bien déterminé et spécifié aux fonctionnements qui proviennent de son environnement. En effet, le comportement d'un système informatique est qualifié de "temps réel" lorsqu'il est soumis à l'évolution d'un procédé qui lui est connecté et qu'il doit piloter ou suivre en réagissant à tous ses changements d'états.

Ce type des systèmes produit généralement un résultat de calcul logiquement exact afin d'exécuter une tâche voulue d'où le fait de dépasser le délai qui lui a été accordé définit la défaillance de système. Ce dernier est une condition qui a des répercussions influençant sur la conception et la validation des systèmes temps réels. Il doit être déterministe c'est à dire facile à faire sa conception et prévoir avec certitude son comportement temporel en fonction des contraintes de charges et aussi environnementales. Cette caractéristique doit servir à traiter les informations et respecter les dates d'échéance. Ce qui permet de dire qu'un système

---

<sup>1</sup> National Engineering School of Carthage, University of Carthage, Tunisia

<sup>2</sup> National Engineering School of Carthage, University of Carthage, Tunisia

<sup>3</sup> Associate Professor, Research Laboratory Smart Electricity & ICT, SEICT, National Engineering School of Carthage, University of Carthage, Tunisia, E-mail: MohamedNajeh.Lakhoua@enicarthage.rnu.tn

temps réel ne doit pas être obligatoirement rapide par contre c'est un dispositif qui respecte les contraintes temporelles qui les qualifie<sup>4</sup>.

La méthode SA-RT (Analyse Structurée Temps Réel)<sup>5</sup> est une méthode très connue sur le plan industriel vue qu'elle est primordiale dans l'analyse fonctionnelle et opérationnelle des applications temps réel. Elle a pour but de décrire non seulement d'une façon graphique mais aussi d'une façon textuelle toute fonction qu'on veut connaître en termes de besoins comme « pourquoi on fait cette application ? ». Cette mise en forme du cahier des charges de l'application est formelle puisqu'elle met en valeur la méthodologie et l'expression.

Cette méthode forme l'une des bases les plus utiles pour la modélisation des systèmes multiphysiques<sup>6</sup> tels qu'un véhicule électrique ou même les différents types des moteurs<sup>7</sup> qui sont jusqu'à nos jours la composante fondamentale et la plus importante de l'automobile<sup>8</sup>.

Dans la plupart des systèmes industriels le phénomène de la combustion s'impose. Or, les chercheurs aujourd'hui ont pour objectif de comprendre, prédire et même contrôler l'ensemble des phénomènes qui se passent lors de la combustion. La conception des dispositifs expérimentaux d'un tel système n'est pas seulement difficile mais aussi coûteuse.

Cet article consiste d'étudier et de modéliser un exemple académique de moteur à combustion pour une automobile paru dans le livre « systèmes temps réel de contrôle – commande » tout en identifiant les diagrammes explicatifs de la méthode SA-RT. C'est ainsi que nous discutons un modèle d'environnement et un modèle de comportement.

## **MATERIEL ET METHODE**

Le contrôle/commande d'un moteur<sup>9</sup> se fait en se basant sur les besoins en rendement, consommation et même la pollution. Plus le véhicule demande beaucoup de consommation de puissance, plus on exerce une force d'appui sur le pédale de l'accélérateur. Donc, pour des résultats satisfaisants nous devons réguler et optimiser les divers paramètres de la combustion mais en contre partie la pollution ne doit pas être aussi importante. On affronte deux cas qui ne sont étudiés que par le calculateur spécifique afin de préciser les différents états du moteur. Soit en lui donnant une prévention sur sa consommation excessive ou la nécessité du changement de mode conduite à cause de la pollution. Or, qu'on parle d'un véhicule électrique on ne parle pas d'un seul calculateur spécifique mais des nombreux calculateurs dédiés à des différentes applications comme le freinage ABS, l'éclairage,... et ils sont liés entre eux à travers un bus CAN dans le but de partager les informations de communication et atteindre un fonctionnement autonome et cohérent. Une captation de l'information se fait à travers les capteurs désignés à préciser les informations en cours de traitement permettant par la suite de réguler les erreurs en donnant les ordres aux actionneurs.

Nous considérons la commande du moteur<sup>10</sup> (figure 1) comme une boîte dont on ne connaît pas sa composition interne mais qui fournit une réponse à travers ce qui été injecté

---

<sup>4</sup> Lakhoua M.N., Conception de systèmes temps réel, Editions Universitaires Européennes,Verlag, ISBN: 978-3-639-50760-7.

<sup>5</sup>Jaulent P., Génie logiciel les méthodes : SADT, SA, E-A, SA-RT, SYS-P-O, OOD, HOOD, Paris 1992.

<sup>6</sup>Tschirhart D., Commande en temps réel : conception et mise en œuvre d'un exécutif multitâche, Paris 1990.

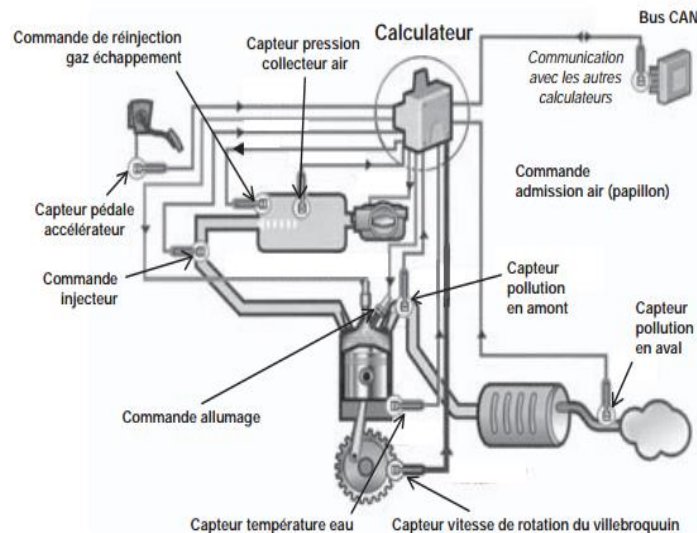
<sup>7</sup>Dorseuil A., Le temps réel en milieu industriel, Dunod, Paris 1991.

<sup>8</sup>Sun Y., Xinhua H., Study on Methods of Warfare Complex System Modeling, International Forum on computer Science-Technology and Applications, 2009.

<sup>9</sup>Cottet F., Systèmes temps réel de contrôle - commande, Dunod, Paris 2005.

<sup>10</sup>Montois J., Gestion des processus industriels temps réel, Ellipses, France 1999.

en entrée donc la partie commande ne nous intéresse pas mais ce qui nous concerne est de bien modéliser le système donné pour que ça conception soit plus facile à étudier<sup>11</sup>.



**Figure 1 :** Représentation du moteur à combustion

La méthode SA-RT était conçue afin de compléter la méthode SA à spécifier les systèmes non-actifs temporellement contraints en ajoutant des outils de décrire parfaitement la dynamique des systèmes dynamiques et en exprimant l'exécution de contrôle de l'exécution des processus de transformation des données<sup>12</sup>. Ceci permet de classer les données d'un système avec la méthode SA-RT suivants trois niveaux nécessaires: un premier fonctionnel<sup>13</sup> qui définit les fonctions et les variables du système ; un deuxième informationnel<sup>14</sup> qui définit les données manipulées par les fonctions ; un dernier dynamique qui définit le contrôle<sup>15</sup> du flux des données et l'activation des fonctions.

## RESULTATS DE LA MODELISATION

Dans cette partie, nous présentons les résultats de l'application d'analyse SA-RT d'un moteur à combustion d'une automobile.

Nous commençons notre analyse par le diagramme de contexte (figure 2) qui englobe en un seul schéma les différents composants constituant ce dernier et définit les frontières d'étude à respecter. Généralement, on associe à ces derniers des flots de données entrants et des flots sortants. D'où, les sept capteurs à gauche comportent les données d'entrée et les commandes situées à droite comportent les flots de sortie. On trouve ainsi le Bus CAN qui joue le rôle d'un élément ayant à la fois des flots de données d'entrée et de sortie c'est à dire

<sup>11</sup>Lakhoua M.N, The need for systemic analysis and design methodology of the medical equipments, IJASS, Inderscience, Vol.8, N°1, 2018.

<sup>12</sup>Hatley D.J., Pirbhai I.A., Stratégies de spécification des systèmes temps réel (SA-RT), Masson, France, 1991.

<sup>13</sup>Soberman M., Génie Logiciel en informatique de gestion, Eyrolles, Paris 1992.

<sup>14</sup>Ben Ahmed S., Moalla M., Courvoisier M.: Towards a design methodology for flexible manufacturing systems command combining SA-RT and object Petri nets. In: Proceedings of the IEEE Symposium on Emerging Technologies and Factory Automation ETFA'95, 1995, Vol.1, pp. 83-94.

que c'est un canal de transmission garantissant une liaison bidirectionnelle entre les composants. Donc on représente ainsi la fonction principale du système qui constitue l'application à étudier, par l'évènement "conducteur" qu'on lui attribue les conditions nécessaires qui influent sur le fonctionnement normal. Pour ce cas on parle d'un système qui doit être mis en marche ou freiné.

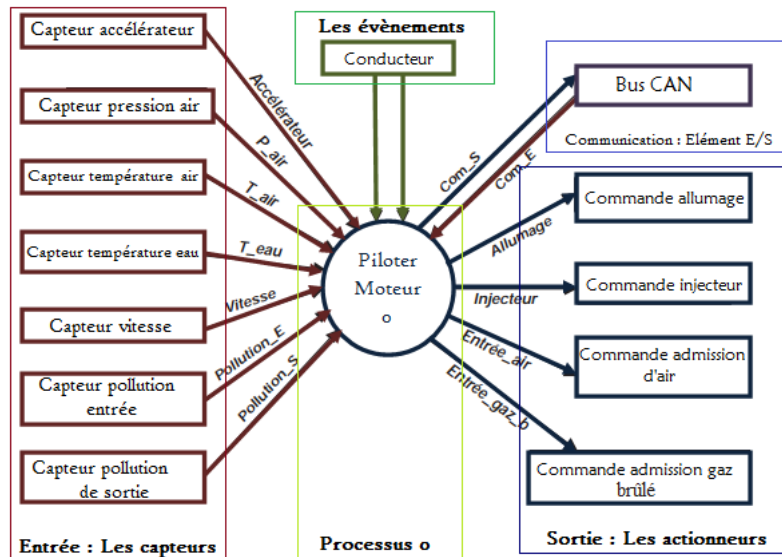


Figure 2 : Diagramme de contexte d'un moteur à explosion

En résumé nous avons une fonction initiale 0 qui est "Piloter moteur" admettant deux conditions (arrêt et marche). Douze terminaux comportant treize flots de données qui se décomposent en huit entrants (Accélérateur, P<sub>air</sub>, T<sub>air</sub>, T<sub>eau</sub>, Vitesse, Pollution<sub>E</sub>, Pollution<sub>S</sub> et Com<sub>E</sub>) et cinq sortants (Com<sub>S</sub>, Allumage, Injecteur, Entrée<sub>air</sub> et entrée gaz<sub>b</sub>). C'est ainsi qu'on constate clairement que le diagramme de contexte nommé ainsi DC définit parfaitement l'interface entre la conception et le client.

Le diagramme préliminaire (figure 3) joue un rôle important dans les étapes qui suivent comme la conception du système à étudier. Dans cette étape, peut dire que les paramètres de la conception sont optimisés en fonction des objectifs et des besoins du client. Donc, c'est une étape très importante pour mieux comprendre le fonctionnement du moteur à travers la modélisation systémique.

Pour bien enrichir notre travail nous allons décomposer le processus fonctionnel initial 0 cité dans le paragraphe précédent en des sous-processus qui se résument des processus fonctionnels de base et un autre de contrôle ayant pour but de découper en une suite ordonnée les opérations de l'ensemble. En réalité cette décomposition, met en valeur le diagramme flots de données par une limite bien déterminée.

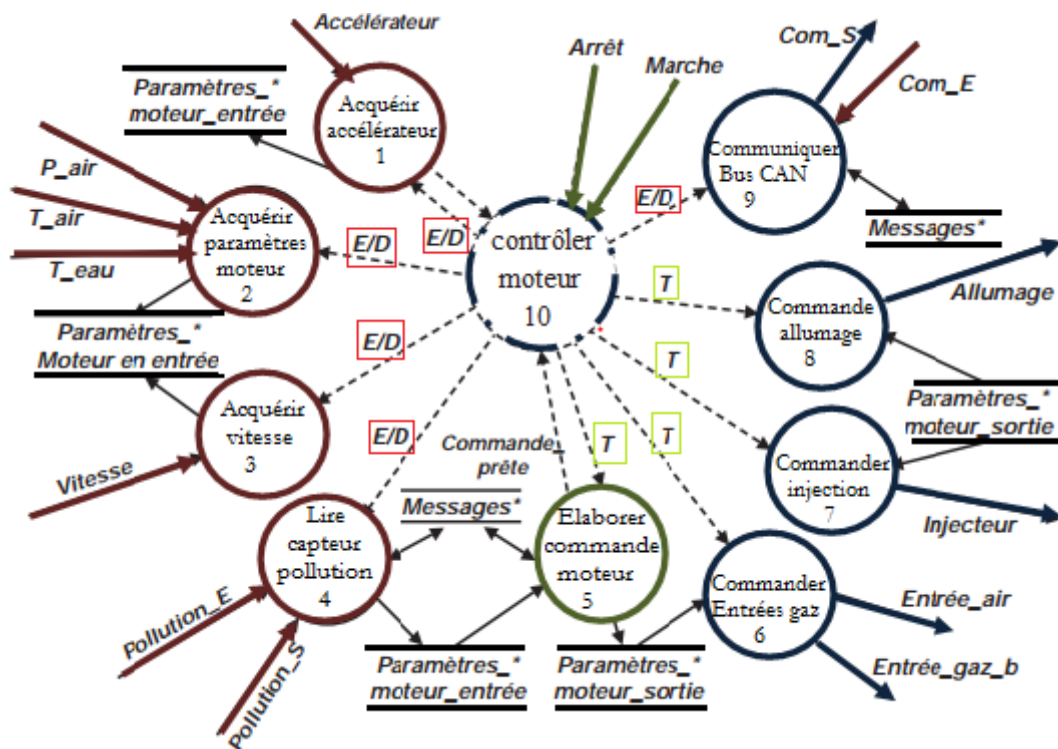


Figure 3 : Diagramme préliminaire du moteur à combustion

Nous pouvons remarquer clairement que ce dernier permet de vérifier la cohérence des flots de données ou des événements entrants et sortants par rapport au diagramme de contexte. On note ainsi que les processus fonctionnels sont liés au processus de contrôle par des flots de contrôle de type Enable/Disable (E/D) ou bien Trigger (T). Les processus fonctionnels 5, 7, 8 et 9 sont déclenchés en même temps. Concernant les paramètres du moteur en entrée et en sortie, ils ne sont que des unités de stockages de données complexes. Une autre unité est conservée pour les messages qui se présentent sous une file de des informations gérés suivant le premier arrivé (FIFO) ou le plus important au niveau d'entrée. Quand à la sortie on ne prend que le résultat du premier traité (FIFO).

Généralement, la liaison entre les divers processus fonctionnels et le processus de contrôle se fait lors de la réalisation du diagramme de état /transition en notant à chaque fois l'évènement nécessaire. Si on donne un ordre de fonctionnement aux processus fonctionnels d'acquisition (1, 2, 3, 4) et on fournit les données utiles et cycliques comme pour notre cas (acquérir accélérateur) qui fournit régulièrement l'évènement "Etat\_accélérateur" en déclenchant par la suite l'élaboration de la loi de commande à partir de tous les flots de données d'entrée acquises. Lorsque la commande est prête alors le processus 5 déclenche tous les processus de commande c'est à dire 6, 7 et 9. Enfin, nous obtenons un processus fonctionnel 9 de communication gérant périodiquement les messages au niveau de la réception/émission.

Le diagramme état/transition<sup>16</sup> (figure 4) est un plus simple que les deux présentés en haut. Nous constatons qu'il contient deux états actifs et l'état repos. L'évènement "état accélérateur" interrompt l'état de l'attente périodiquement. Ainsi in distingue la présence d'un état assimilé à l'élaboration de la loi de commande du moteur à combustion.

<sup>13</sup>Marty J.C., Sartor M.: A specification method combining state charts, activity-charts, and SART concepts in FMS study. In: Proceedings of the 20th IEEE International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation IECON'94, 1994, Vol. 2, pp.1147-1152.

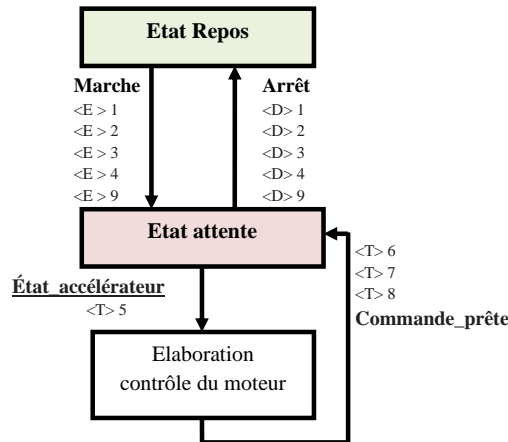


Figure 4 : Diagramme état/transition du moteur

## DISCUSSION

Une représentation propre des différents diagrammes de la méthode SA-RT permet d'avoir une idée sur le fonctionnement du système étudié. Pour notre application cette étude nous aide à bien définir les terminaux, les interactions entre eux et les différentes étapes et transition qui les relie afin de réaliser la fonction attendue et qui est définie comme le processus 0.

Le système de contrôle agit sur son environnement à travers des actionneurs, et récupère les informations de l'extérieur grâce aux sept capteurs présentés. Ces capteurs donnent une information au système de contrôle pour différencier à chaque fois la valeur voulue par rapport à la valeur mesurée puis il donne un ordre aux actionneurs pour agir sur le procédé afin d'avoir un fonctionnement correct et monotone<sup>17</sup>.

Les tâches sont un centre primordial du système temps réel puisqu'il comporte le programme applicatif trouvé dans le système de contrôle<sup>18</sup> et qui permet la communication entre les tâches, la réalisation de l'acquisition de données en provenance des capteurs, ainsi l'ordre donné pour actionneurs commande à l'aide des actionneurs du moteur à combustion<sup>19</sup>.

Le diagramme de contexte contient le processus 0 qui constitue la fonction objectif de notre modélisation "Piloter Moteur". Il constitue une étape intermédiaire entre tout ce qui est attendu et les premiers cas d'utilisation. Il s'agit d'un processus d'analyse et représente la fonction du système à modéliser en général et les divers acteurs qui interagissent avec ce dernier qui sont les terminaux. Parmi eux on trouve l'évènement donnant un ordre de marche ou d'arrêt. Il définit les frontières du système étudié en l'isolant et le délimitant<sup>20</sup>.

Le diagramme préliminaire accentue les fonctions qui sont en relation avec la fonction objectif. Il montre clairement la circulation des données de la première activité jusqu'à atteindre le but en mettant en valeurs les flux de données entrants et sortants. Les processus

<sup>14</sup>Larvet P., Analyse des systèmes : de l'approche fonctionnelle à l'approche objet, InterEditions, Paris, 1994.

<sup>15</sup>David R., Alla H., Du Grafcet aux réseaux de Petri, Edition Hermès, Paris, 1992.

<sup>16</sup>Lakhoua M.N., Khanchel F., Laifi S., Khazemi S., System analysis of medical equipment for healthcare management, Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara 14 (4), 17, 2016.

<sup>17</sup>Naoui, A., Bel Hadj Ali, S., Afilal, L. E. & Abdelkrim, M. N. Application of functional specification and operational safety conventional methods for a networked control system suitable qualitative analysis, conference STA, 2014, pp. 44-52.

présentés sont sous forme des verbes (acquérir vitesse, lire capteur pollution, élaborer commande moteur, commander entrées gaz, etc.)<sup>21</sup>.

Le stockage de données est organisé suivant un modèle conceptuel de données (messages, paramètres moteur\_sortie, etc.)<sup>22</sup>.

Les flux de données ont des flèches liant les processus entre eux et liant ces derniers aux entités externes. Ils lient aussi les processus aux dépôts de données en indiquant le sens de circulation des informations<sup>23</sup>.

Le diagramme état/transition met en valeur les différents états du système qui est le moteur à combustion. Ces contraintes d'activation (E), de désactivation (D) et celles temporelle (T) montrent que c'est une représentation assimilée à la modélisation par GRAFCET.

Ce qu'on peut retenir de ces diagrammes et leur richesse d'information est qu'un passage au pilotage du moteur doit passer par les étapes suivantes : identification des entités externes ; identification des flux entrants et sortants ; identification des sous processus ; identification des dépôts de données ; traçage des diagrammes.

Le moyen de communication utilisé par les tâches pour l'envoi des données sous forme de messages est le réseau CAN.

Tous ces diagrammes se complètent entre eux pour donner à la fin un modèle descriptif, explicatif et détaillé sur un système multiphysique fonctionnant en temps réel.

## CONCLUSION

Un système temps réel peut comporter un ou plusieurs systèmes qui ont pour but de répondre à un objectif bien déterminé dans un temps bien défini. Pour comprendre le fonctionnement des tels systèmes on procède à l'analyse fonctionnelle et opérationnelle par la méthode de modélisation SA-RT.

Dans cet article, nous avons présenté une application de l'analyse systémique à un exemple de littérature d'un moteur de combustion d'une automobile. Cette méthode fournit au chercheur un guide d'acquisition des connaissances grâce à un langage simple combinant la décomposition hiérarchique du système ainsi que des diagrammes contenant les contraintes et les informations nécessaires qui peuvent mener après cette étude à la conception du système.

---

<sup>18</sup>Jimenez F., M. Courvoisier ; A. Garcia ; G. Munoz ; N. Harchani ; M. Al-Mohamed ; D. Esteve, Tools and models for systems design and synthesis of MEMS based on asynchronous circuits, proceedings of IEEE International Conference on Industrial Technology, Vol2, pp. 64 – 69, 2000.

<sup>19</sup>Lakhoua M.N, Wertani H, Overview of Conceptual Proceedings Modeling for Complex Systems, CMSAM 2018, Wuhan China, September 27-28, 2018.

<sup>20</sup>Glaa R, Lakhoua M.N, El Amraoui L, Using SA-RT method and SCADA for the analysis and the supervision of hydrogen circuit, Journal of Electrical Engineering, Vol.16, N°3, 2016.



## REFERENCES

1. **Jaulent P.**, *Génie logiciel les méthodes : SADT, SA, E-A, SA-RT, SYS-P-O, OOD, HOOD*, Armand Colin, Paris 1992;
2. **Dorseuil A.**, *Le temps réel en milieu industriel*, Dunod, Paris 1991;
3. Tschirhart D., *Commande en temps réel : conception et mise en œuvre d'un exécutif multitâche*, Dunod, Paris 1990;
4. **Cottet F.**, *Systèmes temps réel de contrôle - commande*, Dunod, Paris 2005;
5. **Sun Y., Xinhua H.**, *Study on Methods of Warfare Complex System Modeling*, International Forum on Computer Science-Technology and Applications, 2009;
6. Montois J., *Gestion des processus industriels temps réel*, Ellipses, France 1999 ;
7. **Hatley D.J., Pirbhai I.A.**, *Stratégies de spécification des systèmes temps réel (SA-RT)*, Masson, Paris, France, 1991;
8. **Jane W. S. Liu**, « *Real-time Systems* », Prentice Hall, 2000;
9. **Lakhoua M.N.**, *The need for systemic analysis and design methodology of the medical equipments*, IJASS, Inderscience, Vol.8, N°1, 2018;
10. **Soberman M.**, *Génie Logiciel en informatique de gestion*, Eyrolles, Paris 1992;
11. **Ben Ahmed S., Moalla M., Courvoisier M.**, *Towards a design methodology for flexible manufacturing systems command combining SA-RT and object Petri nets*. In: Proceedings of the IEEE Symposium on Emerging Technologies and Factory Automation ETFA'95, 1995, Vol.1, pp. 83-94;
12. **Marty J.C., Sartor M.**, *A specification method combining state charts, activity-charts, and SART concepts in FMS study*. In: Proceedings of the 20th IEEE International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation IECON'94, 1994, Vol. 2, pp.1147-1152;
13. **Lakhoua M.N.**, *Conception de systèmes temps réel*, Editions Universitaires Européennes,Verlag, ISBN: 978-3-639-50760-7;
14. **Larvet P.**, *Analyse des systèmes : de l'approche fonctionnelle à l'approche objet*, InterEditions, Paris, 1994;
15. **David R., Alla H.**, *Du Grafset aux réseaux de Petri*, Edition Hermès, Paris, 1992;
16. **Haston P., Huss S.A.**, *Automatic Generation of Executable models from Structured Approach Real-Time Specifications*. In: Proceeding of the 25th IEEE International Real-Time Systems Symposium (RTSS), 2004;
17. **Lakhoua M.N., Khanchel F., Laifi S., Khazemi S.**, *System analysis of medical equipment for healthcare management*, Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara 14 (4), 17, 2016;
18. **Naoui, A., Bel Hadj Ali S., L. E., Abdelkrim M. N.**, *Application of functional specification and operational safety conventional methods for a networked control system suitable qualitative analysis*, conference STA, 2014, pp. 44-52;
19. **Jimenez F., Courvoisier M.**, *Tools and models for systems design and synthesis of MEMS based on asynchronous circuits*, Proceedings of IEEE International Conference on Industrial Technology, Vol2, pp. 64 – 69, 2000;
20. **Lakhoua M.N, Wertani H.**, *Overview of Conceptual Proceedings Modeling for Complex Systems*, CMSAM 2018, Wuhan China, September 27-28, 2018;
21. **Glaa R., Lakhoua M.N., El Amraoui L.**, *Using SA-RT method and SCADA for the analysis and the supervision of hydrogen circuit*, Journal of Electrical Engineering, Vol.16, N°3, 2016;
22. **Lakhoua M.N.**, *Conception de systèmes temps réel*, Editions Universitaires Européennes, Editeur: Verlag, ISBN: 978-3-639-50760-7, 2016;