

Projet P20 INTÉRÊT GÉNÉRAL

1. **Titre du projet : Mise à jour de l'état de l'art sur les méthodes et outils innovants pour le traitement des systèmes complexes et benchmarking**

2. **Contexte et enjeux**

Les démarches classiques d'analyse des systèmes complexes, systèmes présentant un grand nombre d'éléments, d'interrelations de natures différentes (actions, rétroactions, influences, ...), sont majoritairement fondées sur des visions techniques. Elles aboutissent généralement à un traitement par décomposition en sous-problèmes ou sous-systèmes.

Le développement de ces thématiques d'étude dans le domaine industriel amène à se questionner sur les conditions d'application de ces démarches :

- richesse technique et technologique des systèmes complexes, avec une forte hétérogénéité entre ces systèmes, et au sein de leurs constituants ;
- importance de plus en plus forte des interactions, du fait notamment de l'« ouverture » d'un nombre croissant de ces systèmes ;
- évolution rapide et fluctuante de leur environnement d'exploitation.

L'expérience acquise sur ces démarches a permis d'en exposer certaines limites :

- il est difficile de contrôler l'exhaustivité des interactions conditionnant le comportement souhaité ou non souhaité d'un système ;
- les approches d'Analyse Fonctionnelle et Dysfonctionnelle peuvent permettre de cibler les flux d'interaction ou de dépendance qui ont un sens par rapport aux finalités du concepteur, mais ils ne couvrent pas la totalité des flux d'interaction potentiels susceptibles par exemple de contribuer à la production de situations dangereuses,
- ces analyses descendantes ou ascendantes, reposent sur la mise en œuvre de logiques de découpages, et l'utilisation de langages de modélisation qui ont peine à appréhender des points de vue de granularité hétérogènes, tout en garantissant une cohérence absolue,
- la juxtaposition, voire l'intrication de composantes de natures extrêmement diverses: technologique, hardware ou software, humaine, organisationnelle, environnementale, juridique, sociétale,... laissent peu présager de la réussite de modélisations "unifiées" intégrant ces couches de natures différentes, qu'on voudrait soumettre à des systèmes de représentation interopérables.

Un précédent projet [1], a permis en 2012 de recenser et de présenter des méthodes innovantes capables d'appréhender et de conceptualiser les systèmes complexes, d'en faire l'inventaire, d'identifier leurs lacunes ou incomplétudes.

Le GTR « Innovation en Rupture Transversale – Modélisation des Systèmes Complexes » a sur la base des besoins des industriels, permis de caractériser les différents types de complexité et de s'approprier des méthodes innovantes différentes de celles présentées dans le précédent projet. C'est le cas de la théorie des réseaux développée notamment avec le LIPN et implémentée pour une meilleure exploitation des Etudes Probabilistes de Sûreté [2], celui du « *deep learning* » sur des réseaux de neurones alimentés par du *big data* présenté par la société DCBrain [3] et ceux des modélisations du vivant du projet BRAINS et de l'immunologiste Véronique Thomas-Vaslin (voir CRs du GTR).

L'objectif de ce projet est triple :

- revisiter l'état de l'art du projet P11-4 pour y intégrer les différentes méthodes et outils appréhendés dans le GTR voire d'autres ;
- « benchmarker » deux ou trois de ces méthodes et outils sur un cas partagé par les souscripteurs du projet. Ce cas devra être celui d'un système en lien fort avec l'environnement, ayant des constituants de natures différentes (techniques, humaines voire organisationnelles,... dans un environnement évolutif physique mais pourquoi pas réglementaire, juridique, social...) ; le choix du cas s'appuiera sur les expressions de besoin issues des industriels ;
- identifier les insuffisances et inconvénients de la démarche pour définir des pistes de développement de méthodes innovantes pour le traitement des systèmes complexes.

3. Résultats attendus

- Etat de l'art.
- Construction d'un cas d'application, données nécessaires, structuration.
- Traitement du cas à l'aide trois méthodes différentes.
- Comparaison des résultats (*benchmarking*). Mise en évidence de l'intérêt et des difficultés.
- Synthèse et perspectives.

Le benchmarking pourra par exemple illustrer les questionnements suivants :

- Comment une représentation conceptualisée avec des langages inter opérables (véhicules autonomes dans son environnement, système immunitaire humain) peut-elle générer des émergences (comportements non connus, non prévisibles a priori, mais accessibles dans la réalité) ?

- Quelle démarche d'échantillonnage ou de calibrage avec la réalité permet de fixer les contraintes justes nécessaires pour obtenir des représentations pertinentes ?
- Quelles métriques qualitatives ou quantitatives peuvent-elles rendre compte de la couverture de l'univers des possibles et de la pertinence de la granularité adoptée dans la conceptualisation du réel, que ce soit du point de vue temporel, spatial, dynamique ou des inter relations et flux échangés ?
- Comment adopter une approche réaliste dans l'intégration des facteurs de complexité du système à analyser : volumétrie, hétérogénéité, holisme, aptitude à produire de l'émergence positive ou négative et à privilégier l'exploration d'espaces d'états attracteurs ?
- A quelles questions peut répondre une représentation conceptualisée ?

On pourra croiser ces questionnements avec des applications liées aux supports suivants qui sont cités à titre d'exemples :

- Réseaux bayésiens dynamiques : aide à la décision dans un contexte de crise.
- Réseaux multi valués, multi opérants : simulation et optimisation des performances de cyber sécurité d'un système technico organisationnel.
- Systèmes à base d'agents communicants : régulation d'un système de distribution d'énergie et optimisation de la configuration opérationnelle.
- Réseaux de Neurones à apprentissages renforcés : optimisation d'un réseau logistique.
- Automates cellulaires, algorithmes génétiques : optimisation des capacités opérationnelles d'une flotte de systèmes.
- Jumeaux Numériques (digital twin) : validation d'un système autonome dans un environnement à horizon infini.
- Mise en œuvre de calculs quantiques pour démontrer l'apparition de propriétés émergentes d'un système, ou procéder à des optimisations de dimensionnement, après reformulation énergétique d'indicateurs de performance.
- Application de méthodes constructivistes telles que l' « ISR » (ingénierie système relativisée) pour produire des métriques de contrôle de systèmes complexes échappant aux démarches réductionnistes.

4. Programme des travaux

Ce programme est donné à titre indicatif. Il sera bien évidemment précisé dans un cahier des charges, si le projet a un nombre suffisant de souscripteurs, en fonction de leurs besoins.

- Tâche 0 : Analyse des besoins des souscripteurs
- Tâche 1 : Mise à jour de l'état de l'art des méthodes et outils de traitement des systèmes complexes, et des fiches descriptives associées
- Tâche 2 : Choix d'un cas de comparaison des méthodes les plus pertinentes

Ce cas nécessitera vraisemblablement une structure, les liens d'influence, des données d'entrée, une expertise... Ces informations seront fournies par les souscripteurs ou, à défaut, un exemple fictif pourra être créé ou extrait de la documentation.

- Tâche 3 : Traitement du cas

On s'attachera à appliquer des méthodes et outils venant d'horizons différents : technique, science du vivant,... et à mettre en avant l'apport de ces méthodes et outils par rapport aux méthodes plus classiques, leurs conditions d'utilisation, l'interprétation des résultats et les éventuelles difficultés rencontrées.

- Tâche 4 : Analyse critique de l'utilisation de la méthode choisie, exploration des variantes, et des contraintes présentées par les modalités d'implantation, les hypothèses prises en compte et la maîtrise des informations à prendre en compte à l'entrée de la méthode.
- Tâche 5 : Synthèse et identification des insuffisances et incomplétudes pour définir des pistes de développement de méthodes innovantes pour le traitement des systèmes complexes.

5. Références bibliographiques

- [1] IMdR Projet P11-4 « Etat de l'art des méthodes et outils innovants pour la modélisation des systèmes complexes », 2012
- [2] Thèse de Mouna Rifi, « Exploration des réseaux complexes pour les études probabilités de sûreté », soutenue en 2019, Paris 13, LIPN
- [3] <https://dcbrain.com/>
- [4] C. Duval, G. Fallet-Fidry, B. lung, P. Weber and E. Levrat, "A Bayesian network-based integrated risk analysis approach for industrial systems: application to heat sink system and prospects development", Journal of Risk and Reliability, 2012
- [5] Présentations faites à la manifestation IMdR : « Approches innovantes pour la maîtrise des systèmes complexes » Octobre 2009 et à la plateforme d'échange IMdR – Février 2010
- [6] Le Moigne J.L. (1990). La modélisation des systèmes complexes. Dunod editions
- [7] H. Zwirn – Les systèmes complexes – Mathématiques et biologie, Odile Jacob Sciences, 2006.

6. Durée

12 mois

7. Montant de la souscription

- membres IMdR : 9800 € HT
- non-membres IMdR : 9800 € HT + prix de l'adhésion annuelle relative au collègue souscripteur