

GDR CNRS 3002

RECHERCHE OPÉRATIONNELLE

Prospective scientifique 2020

**Christian ARTIGUES, Nadia BRAUNER, Pierre
FOUILHOUX, Alain QUILLIOT**

A). Méthodologie.

A partir de 2018, et suite à la demande de l'INS2I-CNRS, le GDR R.O a fait explicitement de la Prospective Scientifique une de ses priorités stratégiques. D'un point de vue méthodologique, la démarche adoptée pour concrétiser cette orientation a suivi deux directions indépendantes :

- La première a été de considérer que l'Aide à La Décision étant par essence une projection des STIC en direction de son environnement sociétal et socio-économique, il était indispensable, afin d'appréhender les nouveaux besoins et tendances, de partir du terrain. Les *Journées Industrielles*, organisées annuellement par le GDR R.O ont été parmi les principaux outils de cette approche.

- La deuxième, plus classique, a consisté à s'appuyer sur le ressenti des acteurs académiques et sur les *Groupes de Travail* du GDR, en leur demandant de remonter leurs analyses des tendances émergentes propres à leur domaine d'activité. Dans cette perspective, le GDR a aussi interagi avec la Société Savante ROADEF, porteuse de ses propres analyses et partenariats.

B). Les Tendances.

L'observation laisse apparaître plusieurs niveaux d'évolution, interdépendants mais de nature différentes :

- Les **paradigmes** : Le mode de prise de décision change, pour des raisons liées au contexte socio-économique, sociétal ou technologique, questionnant la nature même des outils et modèles.
- Les **applications** : Certains domaines applicatifs émergents (nouveaux services, nouveaux secteurs socio-économiques, nouvelles normes,...) portent en elles des problématiques nouvelles.
- Les **contextes technologiques** : L'émergence de nouveaux contextes technologiques (IoT, Embarqué,...), impacte les problématiques traditionnelles de la R.O.
- Les **concepts et des algorithmes** : Malgré les avancées qui ont pu être réalisées au cours des années et des décennies précédentes, certaines questions fondamentales continuent à constituer des verrous.

1) Les Paradigmes.

Collaboratif versus Centralisé. L'Aide Informatique à la Décision est historiquement imprégnée du paradigme centralisateur. Les évolutions tant économiques que sociétales tendent à faire de la Décision un objet partagé, entre donneurs d'ordres et sous-traitances, entre sites au sein d'un groupe, entre opérateurs agricoles ou industriels et agences de l'environnement, entre annonceurs et opérateurs de contenus sur le Web... Les outils théoriques de la Théorie des Jeux (coopératifs, non coopératifs,...), et de la Théorie de la Négociation (*Bargaining Theory*) permettent d'appréhender la notion d'équilibre, mais leur traduction en termes algorithmiques et logiciels demeure posée (au sein du GDR R.O => Groupes Travail TADJ et ATOM).

Décision On Line en Contexte IoT/Embarqué. La nouvelle vague de robotisation et le concept émergent de *Cyber Physical System* (CPS) mettent en exergue la *Décision On Line* ou *Embarquée*, qui met en jeu des protocoles de communication et supervision complexes. On mentionnera pour exemple les applications émergentes liées au Transport à la Demande (UBER), au *Car-Sharing* ou au *Covoiturage Intelligent*, au pilotage de flottes de véhicules autonomes ou

de véhicules flexibles en charge de tâches de logistique urbaine. Les approches usuelles de l'algorithmique *On Line* ne répondent que très partiellement aux questions posées, car faisant l'impasse sur le rôle joué par les infrastructures de communication/supervision sous-jacentes.

Partage de Décision : *Supervisé versus Embarqué.* A l'intersection des deux problématiques ci-dessus, se situe celle correspondant au cas où le contrôle d'un système se trouve partagé entre acteurs en charge de niveaux décisionnels correspondant à des horizons temporels distincts : c'est le cas par exemple quand des flottes de véhicules autonomes réalisent des tâches de transitique dans des entrepôts (ex : AMAZON). Les tâches sont distribuées par un superviseur, mais la gestion localisée des intersections, croisements et autres mécanismes de synchronisation est embarquée sur les véhicules, ce qui pose la question de l'articulation entre les deux niveaux.

2) Les Applications.

Les applications de l'Informatique de l'Aide à la Décision se renouvellent très vite, liées à de nouveaux services, sur Web, à l'émergence de technologies nouvelles (par exemple dans le secteur de l'Energie), ou simplement aux nouvelles normes. Parmi les grands champs applicatifs en mutation, on mentionnera :

- *Le secteur de l'Energie* : Apparaissent de nouvelles problématiques liées au management de réseaux très décentralisés (chacun devenant à la fois producteur et consommateur), du management *in situ* de sources d'énergie (H², Biomasse, Solaire, Eolien,...) fortement dépendantes de conditions extérieures, ou encore au dimensionnement des réseaux d'infrastructures à venir : chaîne logistique de l'Hydrogène, adaptation du réseau électrique à son utilisation systématique pour la Mobilité (au sein du GDR R.O => interaction Programme PGMO).
- *Le Secteur de la Santé* : La crise du Covid'19 a amplifié l'importance de l'Aide à la Décision dans le secteur médical et hospitalier. Les évolutions majeures sont la complexification croissante des opérations (dans beaucoup de villes, les CHU sont devenus le premier employeur), le circuit médicament et l'hospitalisation à domicile. Les problématiques émergentes portent alors sur la planification synchronisée des circuits du patient et du médicament, la planification des tournées de soins à domicile, ainsi que la gestion en temps réel des services d'urgences et des flottes de véhicules médicalisés. Les difficultés tiennent à la spécificité des modes décisionnels en milieu médical, au poids des incertitudes et à l'importance des critères de sûreté (au sein du GDR R.O => GT R.O/Santé). .

- *Le Secteur de la Mobilité*: Les principales évolutions tiennent à l'émergence des *véhicules intelligents*(autonomes, semi-autonomes, drones) et à la mise en place de nouveaux services dans lesquels ceux-ci peuvent être amenés à s'intégrer (*véhicule partagé*, transport à la demande, logistique assistée par des drones, distribution par Internet, *dernier kilomètre*,...). Ces évolutions contraignent à des approches dynamiques et collaboratives (au sein du GDR R.O => Groupe Travail GT2L).
- *Le Secteur de l'Environnement* : La préoccupation environnementale ne se retrouve pour l'heure que de façon indirecte dans les processus décisionnels, au travers notamment de la question énergétique (comment produire ou transporter en réduisant les coûts CO² ou en recyclant l'énergie produite et non complètement consommée), et aussi dans les modèles dits d'*Economie Circulaire* (au sein du GDR R.O => Groupes Travail LOT SIZING). Emergent cependant des problématiques liées à l'IoT et relatives par exemple à l'intégration dans des processus de décision en matière d'agriculture ou d'utilisation de l'eau, du point de vue d'acteurs de régulation supervisant en temps continu l'état des ressources.
- *Le Revenue Management* : Les entreprises souhaitent intégrer les outils et méthodes du Numérique dans leurs processus de décision aux niveaux tactiques (niveaux de production, gammes ou procédés de production, politiques tarifaires,...) et stratégiques (infrastructures, produits cibles, identification de marchés,...). Le point dur tient davantage ici au design des modèles qu'à leur traitement algorithmique, et à l'articulation requise entre R.O et procédés d'*Intelligence des Données*.

3) Les contextes technologiques.

On distinguera deux types de situations :

- Celles où le processus décisionnel est porté par l'outil technologique, et où les modèles algorithmiques doivent s'accommoder de cet état de fait (décision via IoT ou plate-forme web). Un exemple est celui des processus de décision sur les marchés d'enchères publicitaires sur Internet (ex : CRITEO), conçus pour fonctionner en quelques centièmes de secondes. Un autre est celui des systèmes de mobilité à la UBER, ou encore des véhicules autonomes opérant en AGV au sein d'un entrepôt.
- Celles où il s'agit de savoir comment de nouveaux outils peuvent être couplés ou intégrés à des modèles et outils décisionnels conçus selon des schémas classiques. Plus spécifiquement, on mentionnera : La question de l'intégration de techniques d'apprentissage supervisé ou d'auto-apprentissage dans des algorithmes décisionnels

aux fins de l'amélioration de leurs performances (au sein du GDR R.O => Groupe Travail RO/Contraintes) ; La question de l'utilisation de techniques d'*Intelligence des Données* (*Data mining*, web sémantique, apprentissage) aux fins non pas de résolution mais de construction de modèles (optimisation ou simulation).

4) Le Niveau des Concepts et des Algorithmes.

Modèles d'Optimisation Combinatoire à Variables Hétérogènes : Des efforts considérables ont été réalisés en Optimisation Combinatoire, débouchant sur des produits tels que CPLEX, XPRESS, MINOS, GUROBI, OR-TOOL, CP-OPIMIZER, CHOCO, CHIP,... ainsi que sur les *Advanced Planning Software*. Pour autant des difficultés subsistent, sur lesquels ces outils butent, et que les chercheurs ne traitent souvent qu'au prix de simplification des modèles qui peuvent s'avérer abusives. C'est le cas des modèles qui mettent en jeu des variables de sémantiques hétérogènes (par exemple du temps et des ressources, ou bien des objets transporteurs et des objets transportés). Les algorithmes de programmation mathématique, basés sur la relaxation des contraintes d'intégrité, se trouvent alors en difficulté. L'efficacité du recours à des approches par contraintes, dépend de la capacité à identifier et traiter de façon incrémentale des contraintes cumulatives *ad hoc*. On peut aussi tenter d'autres approches, basées sur la manipulation de très grandes structures définies de façon implicite : réseaux temporisés, dynamique, *layered graphs*,... (au sein du GDR R.O => Groupes Travail POC, RO/Graphes, GOTHA).

Complexité Paramétrée et Conception d'Algorithmes : Certains problèmes d'Algorithmique de l'Aide à la Décision voient leur complexité au sens du plus mauvais cas diminuer dès lors que l'on fixe certains paramètres clés (*treewidth*,...). Pour autant, les algorithmes de programmation dynamique correspondants sont rarement adaptés à la pratique. Traduire ces avancées théoriques en algorithmes efficaces constitue un enjeu (au sein du GDR R.O => Groupes Travail AGAPE et Graphes/R.O).

Complexité en Moyenne et Benchmarking : Le décalage pratique entre Complexité au *Plus Mauvais Cas* et Complexité en *Moyenne* ou au sens probabiliste demeure un vrai verrou pour les praticiens de l'Aide à la Décision. L'analyse *à priori* des performances algorithmiques (marges d'erreur, temps d'exécution,...) d'algorithmes au sens probabiliste demeure mal maîtrisée, et l'analyse *à posteriori* de ces performances à l'aide de tests se heurte aux biais structurels associés à la construction automatique de benchmarks. Il existe de fait un réel besoin de réflexion en termes de méthodologies expérimentales.

Robustesse et Articulation Optimisation/Simulation : De plus en plus d'applications décisionnelles fonctionnent dans des contextes où la prise de décision s'effectue de façon

récurrente au fil de l'eau, dans un contexte d'incertitude sur l'impact de la décision. Ces notions de décision sous incertitudes et de *Robustesse* renvoient à des questions encore mal maîtrisées, le critère de *Robustesse* qui fait référence à la performance de la décision par rapport à cette notion d'incertitude ne faisant pour l'heure l'objet d'aucune formalisation qui permette de l'intégrer de façon satisfaisante à la Théorie de la Complexité ou à celle de l'Approximation.

Articulation Apprentissage/Aide à la Décision : Que ce soit au niveau académique ou au niveau des entreprises, la montée en force des thèmes dits de *l'Intelligence Artificielle*, et notamment ceux liés au *Deep Learning*, met en exergue la question de l'articulation entre ceux-ci et l'Aide à la Décision. Si une certaine forme d'opportunisme préside parfois à ce processus, celui-ci n'en pose pas moins de vraies questions, notamment celle de la gestion, au sein de processus d'optimisation, de quantités ou contraintes suffisamment complexes pour ne pouvoir être rendues de façon analytique. Une approche consiste à coupler les processus de prise de décision avec des modules de simulation à événements discrets. Utiliser des automates apprenants (SVM, réseaux neuronaux) en tant que modules intermédiaires peut rendre cette approche plus viable qu'elle ne l'est actuellement.

