

Sujet 1: Notions d'équité pour le partage de ressources

Encadrant : Aurélie Beynier (aurelie.beynier@lip6.fr)

Pré-requis recommandé : aucun

Description du sujet :

Résoudre un problème d'allocation de ressources multi-agents consiste à répartir un ensemble de ressources ou objets entre des agents en tenant compte des préférences des agents sur ces objets. On rencontre ce types de problèmes dans de nombreux contextes applicatifs ; par exemple, lorsqu'on souhaite allouer des places dans des universités à des étudiants, des denrées alimentaires à des centres de distribution, des biens lors d'un héritage, des tâches à des robots ou des serveurs,...

Les allocations calculées se doivent d'être efficaces mais également équitables entre les agents. Différents critères d'équité ont été définis dans la littérature notamment l'absence d'envie ou la proportionnalité. Une allocation est par exemple dite sans envie si aucun agent ne préfère le lot de ressources d'un autre agent à son propre lot de ressources.

Les travaux du domaine s'intéressent aux garanties d'existence d'allocation satisfaisant un ou plusieurs critères d'équité, aux algorithmes permettant de calculer des allocations équitables, à la complexité des problèmes et algorithmes. On peut par exemple s'interroger sur les garanties d'existence d'une allocation sans envie ou sur la manière de calculer une telle allocation. Des relations peuvent également être mises en évidence entre différentes notions d'équité.

L'objectif de ce sujet est d'étudier les relations entre les différentes notions d'équité de la littérature ainsi que les garanties d'existence d'allocations satisfaisant un ou plusieurs critères d'équité. Le sujet s'intéressera dans un premier temps aux critères d'équité les plus classiques et pourra ensuite étudier les relaxations récemment proposées dans la littérature (absence d'envie à un bien près par exemple).

Références :

- [1] Bouveret, S. and Lemaître, M. (2016). Characterizing conflicts in fair division of indivisible goods using a scale of criteria. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 30(2) :259–290.
-

Sujet 2: Allocations de tâches multi-agents

Encadrant : Aurélie Beynier (aurelie.beynier@lip6.fr)

Pré-requis recommandé : aucun

Description du sujet :

Le déploiement de flottes de robots autonomes permet de résoudre des missions collaboratives de manière efficaces comme l'exploration de terrains inconnus ou de zones sinistrées, la collecte de colis, le transport de personnes ou de marchandises. Afin de garantir l'efficacité de tels systèmes multi-agents, il est nécessaire de mettre en place des méthodes d'allocation de tâches tenant compte des capacités des agents et de leurs interactions.

Différents types d'approches ont été récemment proposées dans la littérature afin d'allouer des tâches à des agents de manières distribuées c'est-à-dire sans avoir recours à un coordinateur central. On peut citer les approches à bases d'enchères, la recherche de consensus, l'optimisation de contraintes

distribuées... Dans ce sujet, on s'intéressera plus particulièrement à l'algorithme CBBA (Consensus Based Bundle Approach) qui permet une répartition décentralisée des tâches à bases d'enchères et de consensus.

Le premier objectif de ce sujet sera d'étudier l'algorithme CBBA et les garanties d'efficacité qu'il fournit par rapport aux autres approches de l'état de l'art.

Après avoir étudié la version originale de CBBA, le sujet consistera à dresser un panorama des différentes variantes de CBBA plus récentes et des problèmes d'allocations de tâches associés.

Références :

- [1] Han-Lim Choi, Luc Brunet, and Jonathan P. How, 'Consensus-Based Decentralized Auctions for Robust Task Allocation', IEEE Transactions on Robotics, 25(4), 912–926, (August 2009).
Conference Name : IEEE Transactions on Robotics.
-

Sujet 3: Combinaison d'optimisation de trajectoires et d'optimisation de politique en apprentissage par renforcement

Encadrant : Olivier Sigaud (Olivier.Sigaud@isir.upmc.fr)

Pré-requis recommandé : intérêt pour l'apprentissage par renforcement.

Description du sujet :

L'apprentissage par renforcement permet à un agent d'optimiser la quantité de récompense qu'il reçoit dans son environnement. Cette optimisation peut se faire en apprenant une *politique* qui définit le comportement de l'agent, ou bien en apprenant un modèle de l'environnement et en cherchant directement avec ce modèle les trajectoires qui maximisent la récompense. Depuis quelques années, il existe un ensemble d'algorithmes qui combinent les deux approches.

Cette combinaison de deux approches est susceptible d'être performante sous réserve que les deux processus qui la composent fonctionnent en synergie. Cela suppose de mettre en place des mécanismes qui aider à *aligner* les comportements que chacun des processus produirait individuellement.

Dans le cadre de ce projet, on se focalisera sur l'étude des mécanismes d'alignement proposés par quelques-uns des algorithmes récents de la littérature.

Références :

- [1] Wang, Yuhang, et al. "Bootstrapped model predictive control." arXiv preprint arXiv :2503.18871 (2025). <https://arxiv.org/pdf/2503.18871>
- [2] Sikchi, Harshit, Wenxuan Zhou, and David Held. "Learning off-policy with online planning." Conference on Robot Learning. PMLR, 2022. <https://proceedings.mlr.press/v164/sikchi22a/sikchi22a.pdf>
- [3] Lin, Haotian, et al. "TD-M(PC)² : Improving Temporal Difference MPC Through Policy Constraint." arXiv preprint arXiv :2502.03550 (2025). <https://arxiv.org/pdf/2502.03550>
-

Sujet 4: Problème d'Ordonnancement Multi-Organisations

Encadrant : Martin Durand (martin.durand@lip6.fr)

Pré-requis recommandé : suivre l'UE COMPLEX en parallèle.

Description du sujet : Les problèmes d'*ordonnancement* consistent à affecter un ensemble de *tâches* à des *machines* en précisant pendant quel intervalle de temps chaque machine effectue chacune des

tâches qui lui sont affectées. Les tâches peuvent représenter des programmes informatiques devant être exécutés, des activités ayant lieu dans un endroit dédié, ou encore les différentes étapes de confection d'un produit sur une chaîne logistique. Les machines représentent alors une ressource permettant d'effectuer les tâches : un processeur, une salle à réserver, ou une machine de la chaîne de production. Un objectif classique en ordonnancement est de trouver une affectation qui minimise le temps nécessaire pour effectuer toutes les tâches, en d'autres termes, on souhaite que la tâche qui se termine en dernier se termine le plus tôt possible.

On se place dans un contexte où plusieurs organisations, par exemple des universités, possèdent chacune des machines, par exemple un cluster de machines de l'université, et des tâches, par exemple des programmes soumis par les étudiants et chercheurs de l'université qui doivent être exécutés sur le cluster. Chaque organisation peut affecter ses tâches à ses machines pour obtenir une solution individuelle, aussi appelée *ordonnancement local*. Cependant, s'il y a plusieurs organisation et que le niveau de demande de chaque organisation varie au cours du temps, parce que certaines semaines sont plus chargées que d'autres, il peut être plus intéressant de mettre en commun les ressources des organisations, c'est-à-dire les machines, pour obtenir une solution commune, appelée *ordonnancement global*. On cherchera toujours un ordonnancement global qualifié de *rationnel*, en d'autres termes on veut garantir qu'aucune organisation n'est pénalisée lorsqu'elle participe au processus de partage, car si ce n'est pas le cas elle aura simplement intérêt à quitter le processus et à utiliser son ordonnancement local.

Un ordonnancement global rationnel existe toujours et plusieurs travaux étudiant ce problème s'intéressent à des algorithmes qui renvoient un ordonnancement rationnel et qui donnent des garanties théoriques supplémentaires [1]. Ces algorithmes cherchent notamment à retourner un ordonnancement dont la date de fin de la dernière tâche est la plus petite possible. L'objectif de ce projet est de proposer un état de l'art rendant compte des résultats théoriques portant sur les algorithmes utilisés et sur la complexité du problème.

Un projet PAI2D sur le problème d'ordonnancement multi organisations sera proposé au second semestre.

Références :

- [1] Pascual, Fanny, Krzysztof Rządca, and Denis Trystram. "Cooperation in multi-organization scheduling." *Concurrency and Computation : Practice and Experience* 21.7 (2009) : 905-921.

Sujet 5: Agrégation de préférences : règle de Kemeny

Encadrant : Martin Durand (martin.durand@lip6.fr)

Pré-requis recommandé : aucun.

Description du sujet : La *théorie du vote* est un domaine de recherche portant sur l'étude de différentes règles de vote ainsi que leurs propriétés théoriques. Il existe de nombreuses règles de vote, toutes n'utilisent pas les mêmes modes d'expression des préférences. Par exemple, le scrutin uninominal à deux tours, utilisé en France, demande aux votants d'indiquer leur candidat(e) préféré(e). Cependant, il existe des moyens d'expression plus détaillés, par exemple donner un classement complet des candidats. Ces informations supplémentaires permettent de prendre une décision plus éclairée.

La *règle de Kemeny* utilise les classements comme mode d'expression des préférences. Elle renvoie un classement des candidats qui minimise la "différence" avec les classements données par les votants. Cette différence est mesurée à l'aide de la *distance de Kendall-tau*. La distance de Kendall-tau mesure le nombre de paires de candidats qui sont ordonnées différemment dans deux classements. Par exemple,

on considère deux classements $C_1 : a \prec b \prec c$ et $C_2 : c \prec a \prec b$, c.-à-d. que C_1 classe le candidat a d'abord, puis b , puis c . Le classement C_1 classe c après a et c après b alors que C_2 classe c avant a et c avant b . Les deux classements sont donc en désaccord sur les paires $\{a, c\}$ et $\{b, c\}$ et leur distance de Kendall-tau est donc de 2. Si l'on se replace dans le contexte des élections et que l'on considère que le rangement renvoyé par la règle de Kemeny est C_1 et que C_2 correspond à un classement donné par un votant alors ce votant serait "insatisfait". Chaque votant est insatisfait à hauteur de la distance de Kendall-tau entre le classement qu'il a exprimé et le classement choisi. La règle de Kemeny retourne un classement qui minimise la somme des insatisfactions.

La règle de Kemeny a été très largement étudiée. Il a été prouvé qu'elle satisfait de nombreuses *propriétés théoriques* [1]. Ces propriétés nous donnent des garanties sur la qualité du classement renvoyé. Elle a également été étudiée en utilisant des approches *computationnelles* [3] et *probabilistes* [2], et de nombreuses *extensions* ont été étudiées pour adapter cette règle à d'autres contextes que les simples élections. Le but de ce projet est de proposer un état de l'art sur l'un des aspects mentionnés au-dessus.

Références :

- [1] Young, H. Peyton, and Arthur Levenglick. "A consistent extension of Condorcet's election principle." SIAM Journal on applied Mathematics 35.2 (1978) : 285-300.
- [2] Young, H. Peyton. "Condorcet's theory of voting." American Political science review 82.4 (1988) : 1231-1244.
- [3] Bartholdi III, John, Craig A. Tovey, and Michael A. Trick. "Voting schemes for which it can be difficult to tell who won the election." Social Choice and welfare 6.2 (1989) : 157-165.

Sujet 6: Étude de variantes du problème de sac à dos dans le cadre des jeux de fantasy cyclisme

Encadrant : Thibaut Lust (thibaut.lust@lip6.fr)

Pré-requis recommandé : aucun.

Description du sujet :

Les jeux de fantasy cyclisme consistent à composer une équipe de coureurs dans une contrainte budgétaire limitée afin de maximiser les points gagnés tout au long d'une course (par exemple le Tour de France). Dans ce contexte, chaque coureur a un coût et un rendement estimé (points potentiels). Le joueur doit choisir un ensemble de coureurs dont la somme des coûts ne dépasse pas un budget donné, tout en maximisant la valeur totale (les points). Dans certains jeux, il est possible de réaliser des transferts (qui peuvent aussi avoir un coût) après un certain nombre d'étapes.

Cette étude se focalise sur l'analyse post-optimale, c'est-à-dire que l'on suppose que toutes les données sont connues, notamment les points rapportés par chaque coureur après chaque étape. Il s'agit alors d'étudier comment l'équipe optimale évolue étape par étape, à posteriori des performances réellement observées. L'objectif est d'étudier, pour chaque jour de course, quelle combinaison de coureurs aurait permis de maximiser les points sous la contrainte budgétaire et sous contrainte de nombre de transferts limité. Cette analyse soulève plusieurs problématiques : la stabilité de la solution optimale (certains coureurs sont-ils presque toujours présents?), ainsi que l'étude des combinaisons intéressantes de coureurs (y-a-t-il des dépendances entre coureurs?)

La modélisation de ce problème est proche du problème du sac à dos, mais la gestion des transferts rend le modèle plus complexe puisque des échanges d'objets (les coureurs) peuvent être réalisés pendant la course. Dans [1], un modèle PLNE est présenté, permettant notamment de modéliser la

problématique des transferts. Ce problème est aussi abordé dans [2]. De manière plus générale, le problème du sac à dos multi-étapes est étudié dans [3].

Le but de ce projet est de réaliser une étude bibliographique de ce problème et d'étudier les liens avec les différentes variantes du problème du sac à dos. Il sera également demandé de présenter les modèles PLNE utilisés dans la littérature.

Un projet AI2D fera suite à ce projet, dont le but principal sera de résoudre les modèles sur des cas d'application réelle et de proposer de nouvelles méthodes d'optimisation.

Références :

- [1] Jeroen Beliën and Dries Goossens and Daam Van Reeth, Optimization modelling for analyzing fantasy sport games, *INFOR : Information Systems and Operational Research*, 275–294, 2007, <https://doi.org/10.1080/03155986.2017.1279899>
 - [2] Marcel Ausloos, Should one (be allowed to) replace the Cipollini's?, *Annals of Operations Research*, 2024, <https://doi.org/10.1007/s10479-024-06206-y>
 - [3] Evripidis Bampis, Bruno Escoffier, Alexandre Teiller, Multistage knapsack, *Journal of Computer and System Sciences*, Volume 126, 2022, Pages 106–118, <https://doi.org/10.1016/j.jcss.2022.01.002>
-

Sujet 7: Problème du voyageur de commerce à deux critères avec priorités de séquence

Encadrant : Thibaut Lust (thibaut.lust@lip6.fr)

Pré-requis recommandé : suivre l'UE MOGPL en parallèle.

Description du sujet :

Ce projet étudie une extension du problème classique du problème du voyageur de commerce où deux objectifs contradictoires doivent être optimisés simultanément [1] : minimisation de la longueur totale de la tournée et respecter autant que possible des priorités de séquence imposées sur l'ordre de visite des villes.

Ce cadre relève de l'optimisation combinatoire multi-objectifs : au lieu d'une solution unique, on recherche un ensemble de solutions non-dominées, appelées également solutions Pareto-optimales. Une solution est dite Pareto-optimale s'il n'existe pas d'autre solution au moins aussi bonne sur tous les objectifs, et strictement meilleure sur un des objectifs. L'ensemble de ces solutions forme, dans l'espace des objectifs, le front de Pareto, qui permet de visualiser les compromis entre longueur totale et respect des priorités.

Le projet consistera à présenter le problème, la modélisation, expliquer les méthodes de résolution décrites dans la littérature et discuter des résultats numériques.

D'autres variantes du problème du voyageur de commerce pourront également être étudiées [2].

Ce projet pourra être prolongé au second semestre sous la forme d'un PAI2D, sous réserve d'un travail satisfaisant.

Références :

- [1] H. Schmitz and S. Niemann, A Bicriteria Traveling Salesman Problem with Sequence Priorities, in *Metaheuristics in the Service Industry*, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, vol. 624, pp. 1–14, Springer, 2009. doi :10.1007/978-3-642-00939-6_1
- [2] J.-F. Bérubé, M. Gendreau, and J.-Y. Potvin, An exact ϵ -constraint method for bi-objective combinatorial optimization problems : Application to the Traveling Salesman Problem with Profits, *European Journal of Operational Research*, vol 194, no. 1, pp.39–50, 2009. doi :10.1016/j.ejor.2007.12.014

Sujet 8: Reconstruction automatiquement de programme à partir de ses traces d'exécution

Encadrant : Sébastien Lallé (sebastien.lalle@lip6.fr), Mathieu Muratet (mathieu.muratet@lip6.fr)

Pré-requis recommandé : aucun.

Description du sujet :

Le problème que nous considérons est celui de l'inférence de programmes à partir de traces d'exécution. Il s'agit de retrouver, à partir d'une séquence observée d'appels de fonctions, une représentation compacte du programme (incluant des boucles et des conditions) qui pourrait avoir généré cette séquence. Par exemple, considérons la trace suivante : AAAAAAAB. Le programme qui a pu générer cette trace pourrait être

```
for _ in range(7):  
    A()  
B()
```

Que l'on peut aussi représenter sous forme compacte "[A]B".

Les enjeux autour de ce problème concernent la compréhension et la rétro-ingénierie de codes, le monitoring et l'analyse de sécurité (dédire des comportements à partir de journaux d'exécution), ou encore l'enseignement (aider les élèves à voir la structure derrière une exécution).

D'un point de vue algorithmique, ce problème peut être abordé de deux manières : soit par des méthodes symboliques, comme l'inférence d'expressions régulières ou l'analyse de motifs récurrents, qui produisent des représentations compactes et interprétables ; soit par des méthodes numériques fondées sur l'apprentissage, en particulier la génération de code à l'aide de modèles d'IA génératifs tels que les transformers, capables de généraliser à partir de grandes quantités de données. Ce sujet vise à faire un état de l'art des principales méthodes autour de ces deux grandes approches.

Références :

- [1] Eui Chul Shin, Illia Polosukhin, Dawn Song, Improving Neural Program Synthesis with Inferred Execution Traces, NeurIPS, 2018 (https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2018/file/7776e88b0c189539098176589250bcba-Paper.pdf)
- [2] Margarida Ferreira, Victor Nicolet, Joey Dodds, Daniel Kroening, Program Synthesis from Partial Traces, Proceedings of the ACM on Programming Languages, Pages 1642 - 1665, 2025 (<https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3729316>)
- [3] Craig G. Nevill-Manning, Ian H. Witten, Identifying hierarchical structure in sequences : a linear-time algorithm, Journal of Artificial Intelligence Research, Volume 7, Issue 1, Pages 67 - 82, 1997 (<https://dl.acm.org/doi/abs/10.5555/1622776.1622780>)

Sujet 9: Context-specific fairness for large language models

Encadrant : Badmavasan KIROUCHENASSAMY (badmavasan.kirouchenassamy@lip6.fr) et Mélina VERGER (melina.verger@insa-lyon.fr)

Pré-requis recommandé : aucun.

Contexte :

La plateforme considérée est un environnement d'apprentissage ludifié de la programmation où des apprenant·e·s, de niveaux hétérogènes et de contextes linguistiques variés, résolvent des énigmes progressives portant sur des notions fondamentales (variables, conditionnelles, boucles, structures de données simples). Lorsque l'utilisateur·rice bloque, un modèle de langage (LLM) intégré au système génère un retour textuel personnalisé visant à diagnostiquer l'erreur, à suggérer des pistes de correction et à soutenir la progression sans divulguer directement la solution. Ce LLM est un service à usage général, entraîné sur des données massives et peu transparentes, dont la configuration (versions, paramètres de décodage, politiques de sécurité) peut évoluer au fil du temps.

L'enjeu d'équité apparaît dès lors que l'on constate que des profils d'apprenants pourtant confrontés à des tâches de difficulté comparable peuvent recevoir des retours de qualité inégale, par exemple selon la langue d'interaction (français natif vs. francophone L2), le style d'écriture (sobre vs. verbeux), les erreurs typiques (off-by-one, mauvaise condition, boucle infinie), le niveau déclaré (débutant·e vs. intermédiaire) ou encore l'usage d'une écriture inclusive. Ces disparités, même subtiles, peuvent se traduire par des écarts de taux de réussite après feedback, de temps de résolution, de charge cognitive ou de confiance, et donc produire des trajectoires d'apprentissage divergentes.

Problématique :

Parmi les définitions, métriques et protocoles d'évaluation de l'équité proposés dans la littérature pour les modèles génératifs, lesquels s'avèrent empiriquement valides et effectivement applicables au cas d'un LLM tuteur qui fournit du feedback de programmation.

Références :

- [1] Digital Silk. *Number Of ChatGPT Users In 2025 : Stats, Usage & Impact*. 2025. Available at : <https://www.digitalsilk.com/digital-trends/number-of-chatgpt-users/> [Consulté le : 10.09.2025].
- [2] Barocas, Solon, Hardt, Moritz, and Narayanan, Arvind. *Fairness and Machine Learning : Limitations and Opportunities*. 2019. Available at : www.fairmlbook.org.
- [3] Anthi, Jacy Reese, Lum, Kristian, Ekstrand, Michael D., Feller, Avi, D'Amour, Alexander, and Tan, Chenhao. *The Impossibility of Fair LLMs*. In : *Proceedings of the 63rd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*. 2025. Available at : <https://arxiv.org/pdf/2406.03198>.
- [4] Gallegos, Isabel O., Rossi, Ryan A., Barrow, Joe, Tanjim, Md Mehrab, Kim, Sungchul, Der-noncourt, Franck, Yu, Tong, Zhang, Ruiyi, and Ahmed, Nesreen K. *Bias and Fairness in Large Language Models : A Survey*. *Computational Linguistics*, vol. 50, no. 3, pp. 1097–1179, Sept. 2024. doi : https://doi.org/10.1162/coli_a_0052410.1162/coli_a_00524. Available at : https://direct.mit.edu/coli/article-pdf/50/3/1097/2471010/coli_a_00524.pdf.

Sujet 10: Modélisation de conventions citoyennes

Encadrant : Nicolas Maudet (nicolas.maudet@lip6.fr)

Pré-requis recommandé : aucun, mais intérêt pour les questions à l'interface avec les sciences sociales.

Description du sujet :

La démocratie délibérative repose en particulier sur l'organisation de débats (conventions citoyennes) permettant aux participantes et participants de s'informer, d'échanger des arguments, d'écouter des expertes et experts, avant de finalement proposer des recommandations afin de tenter de répondre à des questions complexes (par ex. changement climatique, débat sur la fin de vie, voir <https://www.lecese.fr/>)

L’organisation et la médiation de tels débats soulèvent de nombreuses questions et difficultés de conception : sélection des participantes et participants garantissant une certaine diversité, répartition des séances de discussion et organisation des temps de parole, place donnée aux expertes et experts, ou encore modalités de vote.

Ces dernières années, des recherches en informatique ont abordé plusieurs de ces questions, en s’appuyant sur des approches variées et complémentaires (simulation multiagents, choix social computationnel, modèles formels d’argumentation). L’objectif de ce sujet est de proposer une lecture et synthèse de certains de ces travaux.

Le sujet pourra être poursuivi par un projet M1 AI2D au S2.

Références :

- [1] Barrett, J., Gal, K., Michael, L. et al. Beyond the echo chamber : modelling open-mindedness in citizens’ assemblies. *Auton Agent Multi-Agent Syst* 38, 30 (2024). <https://doi.org/10.1007/s10458-024-09655-8>
- [2] Barrett, J., Gal, Y. K., Gözl, P., Hong, R., & Procaccia, A. D. (2023). Now we’re talking : Better deliberation groups through submodular optimization. In *Proceedings of the 37th AAAI conference on artificial intelligence* (pp. 5490–5498). <https://doi.org/10.1609/aaai.v37i5.25682>
- [3] Butler, G., Pigozzi, G., & Rouchier, J. (2020) An Opinion Diffusion Model with Vigilant Agents and Deliberation. In *Multi-agent-based simulation XX* (pp. 81–99). https://doi.org/10.1007/978-3-030-60843-9_7
- [4] Argumentative Agent-Based Models. Louise Dupuis de Tarlé, Matteo Michelini, Dunja Šešelja & Christian Straßer. *Journal of Applied Logics*. 2025. <https://philpapers.org/rec/DUPAAM-3>

Sujet 11: Algorithmes pour l’optimisation combinatoire ordinaire

Encadrant : Olivier Spanjaard (olivier.spanjaard@lip6.fr)

UEs en lien : MOGPL, COMPLEX.

Description du sujet : Ce sujet s’inscrit dans le cadre de l’*optimisation combinatoire ordinaire*, qui vise à éviter de “plaquer” des valeurs numériques arbitraires aux éléments d’un problème d’optimisation combinatoire (e.g., objets, arcs, arêtes...), si ces valeurs ne sont pas disponibles. Dans ce cadre, on dispose donc seulement, pour chaque élément i du problème considéré, d’une catégorie $\gamma^i \in \{1, \dots, C\}$, avec $1 \triangleright 2 \triangleright \dots \triangleright C$, où \triangleright signifie “est strictement préféré à”.

Montrons à l’aide d’un exemple (volontairement simplifié) que l’affectation arbitraire de valeurs numériques aux catégories peut conduire à des choix biaisés [1]. Considérons une bibliothèque universitaire qui souhaite s’abonner à $k=2$ revues scientifiques, avec un budget $b=6$. L’ensemble \mathcal{N} des revues considérées est constitué d’un journal de rang A (catégorie 1), deux journaux de rang B (catégorie 2) et un journal de rang C (catégorie 3). Ce problème peut se modéliser sous la forme d’un problème de sac à dos où l’on cherche un sous-ensemble $S \subseteq \mathcal{N}$ de taille 2 (i.e., $|S|=2$) tel que $\sum_{r \in S} c(r) \leq 6$, où $c(r)$ représente le coût d’abonnement à la revue r . Cependant les coefficients de la fonction objectif additive ne sont pas explicités. Considérons une instance où $\mathcal{N} = \{1, 2, 3, 4\}$, et $c(1) = 5$, $c(2) = 4$, $c(3) = 2$, $c(4) = 1$. De plus, le journal 1 est de catégorie 1 ($\gamma^1 = 1$), les journaux 2 et 3 sont de catégorie 2 ($\gamma^2 = \gamma^3 = 2$) et le journal 4 est de catégorie 3 ($\gamma^4 = 3$). Dans la table 1, on indique deux jeux de valeurs numériques compatibles avec l’ordre sur les catégories (par exemple, dans la première ligne, on affecte la valeur 8 à la classe 1, 4 à la classe 2 et 1 à la classe 3). Le choix d’abonnements est indiqué dans la colonne de droite (choix). On s’aperçoit ici que des changements mineurs dans les valeurs numériques conduisent à des choix opposés. Cela justifie l’intérêt de développer des algorithmes spécifiquement dédiés à une information de nature ordinaire.

1	2	3	4	choix
8	4	4	1	{1, 4}
8	5	5	1	{2, 3}

TABLE 1 – Données de l'exemple.

Les travaux en optimisation combinatoire ordinale sont encore assez peu développés. Le but de ce travail sera de réaliser un état de l'art sur le sujet, en mettant l'accent sur un problème d'optimisation spécifique. Un sujet de projet PAI2D en lien avec ce sujet IREC devrait être disponible au second semestre, sans obligation ni automaticité à poursuivre.

Références :

- [1] Edwin M. Bartee. Problem solving with ordinal measurement. *Management Science*, 17(10) :622–633, 1971.

Sujet 12: Restrictions de domaine en choix social computationnel

Encadrant : Olivier Spanjaard (olivier.spanjaard@lip6.fr)

UEs en lien : MOGPL, COMPLEX.

Description du sujet : Ce sujet s'inscrit dans le cadre du *choix social computationnel*, qui vise à adopter le regard de l'informaticien(ne) pour étudier les problèmes de choix social. La théorie du choix social porte notamment sur l'étude des règles de vote, vues comme des fonctions d'agrégation des préférences, qui prennent en entrée une collection de rangements sur les candidats (les préférences des individus) et retournent un rangement collectif. Un résultat très connu dans le domaine et au-delà est le théorème d'impossibilité d'Arrow, qui établit qu'il n'existe pas de fonction d'agrégation des préférences satisfaisant un sous-ensemble de propriétés souhaitables (neutralité, universalité, non-dictature, indépendance des options non pertinentes).

Une manière de contourner ce résultat négatif est de relaxer l'hypothèse d'universalité, qui suppose que toutes les préférences sont possibles. En effet, dans de nombreux contextes, l'espace des options possibles présentent une structure qui rend certaines préférences individuelles improbables voire impossible. Par exemple, les préférences sur la température au thermostat d'une salle de réunion sont structurées par l'axe des températures croissantes : si la température préférée est 20 degrés, la deuxième température préférée est selon toute vraisemblance 19 ou 21 degrés, la troisième voisine aussi, etc. De même, on peut penser que les préférences des votant(e)s à une élection sont structurées par l'axe politique gauche-droite. On parle de *restriction de domaine*, et cet exemple correspond aux préférences *single-peaked* [1]. De nombreuses restrictions domaines ont été étudiées : les préférences Euclidiennes (où les votant(e)s et les candidat(e)s sont projeté(e)s dans un espace Euclidien, et les préférences de chaque individu sont décroissantes avec la distance aux différentes options), les préférences à croisement unique où il existe un axe sur les votant(e)s qui structure leurs préférences, etc. En choix social computationnel, différents problèmes se posent autour des restrictions de domaines, tels que : est-il difficile de reconnaître si une collection de préférences satisfait les conditions d'une restriction de domaine ? Si les préférences satisfont une restriction de domaine donnée, quel est l'impact sur la complexité des différentes procédure d'agrégation des préférences ? Sur la complexité de manipulation d'une élection ?

Le but de ce travail sera de réaliser un état de l'art sur une restriction de domaine spécifique, en abordant les différentes questions de recherche qui se posent en choix social computationnel (propriétés

axiomatiques, algorithmiques, complexité, etc.). Un sujet de projet PAI2D en lien avec ce sujet IREC devrait être disponible au second semestre, sans obligation ni automaticité à poursuivre.

Références :

- [1] Bruno Escoffier, Jérôme Lang et Meltem Öztürk. Single-peaked consistency and its complexity. *Proceedings of ECAI 2008* : 366-370. IOS Press, 2008.

Sujet 13: Génération aléatoire uniforme de capacités

Encadrant : Olivier Spanjaard (olivier.spanjaard@lip6.fr)

UEs en lien : MAPSI, COMPLEX.

Une *capacité* μ sur un ensemble fini N est une fonction d'ensemble monotone de 2^N (ensemble des parties de N) vers $[0, 1]$, vérifiant :

- $\mu(\emptyset) = 0$, $\mu(N) = 1$ (normalisation),
- $A \subseteq B \Rightarrow \mu(A) \leq \mu(B)$ (monotonie).

En pratique, elle sert notamment en décision multicritère à paramétrer une intégrale de Choquet [1]. Une *intégrale de Choquet* est une fonction d'agrégation multicritère, qui permet d'attribuer un "score" à un vecteur de performances sur un ensemble N de critères. Une fonction d'agrégation bien connue est la moyenne pondérée, utilisée pour l'évaluation des étudiant(e)s. Le tableau 2 présente les résultats fictifs de trois étudiants A , B et C en MAPSI, COMPLEX et IREC. Il n'est pas difficile de se convaincre que, quel que soient les coefficients choisis pour les trois UE, l'étudiant(e) C n'aura jamais la meilleure moyenne, alors que l'on pourrait vouloir privilégier un tel profil équilibré de notes.

	MAPSI	COMPLEX	IREC
Etudiant(e) A	18	16	10
Etudiant(e) B	10	12	18
Etudiant(e) C	14	15	15

TABLE 2 – Relevé de notes.

L'intégrale de Choquet permet cela, en définissant une capacité sur les sous-ensembles d'UE, plutôt qu'un coefficient par UE. Nous ne détaillons pas la formule de l'intégrale de Choquet ici, car ce sujet IREC porte uniquement sur la génération aléatoire d'une capacité. Pour apprendre les paramètres d'une intégrale de Choquet à partir d'exemples (tuples $(note_1, \dots, note_n, moyenne)$), il est en effet utile de savoir générer des capacités de manière uniforme.

Si l'on note $\mathcal{C}(N)$ l'ensemble des capacités possibles sur N , définissant un polyèdre de dimension $2^{|N|} - 2$, le problème revient à tirer un point dans $\mathcal{C}(N)$ selon une densité de probabilité uniforme. Malgré sa formulation simple et naturelle, le problème s'avère difficile du fait des contraintes de monotonie indiquées plus haut, et les méthodes naïves donnent des distributions très biaisées.

Ce sujet requiert un *attrait pour les aspects mathématiques*. Le but du travail sera de dresser un panorama des différentes méthodes de génération aléatoire uniforme de capacités proposées dans la littérature, en s'intéressant à leur fonctionnement et à leur complexité. Un sujet de projet PAI2D en lien avec ce sujet IREC devrait être disponible au second semestre, sans obligation ni automaticité à poursuivre.

Références :

- [1] Michel Grabisch. The application of fuzzy integrals in multicriteria decision making. *European Journal of Operational Research*, 89(3) :445–456, 1996.
-

Sujet 14: Modèles de langues et modèles de fondation multimodaux en robotique

Encadrant : Stéphane Doncieux (stephane.doncieux@sorbonne-universite.fr)

Pré-requis recommandés : aucun.

Description du sujet :

Les modèles de langue ont ouvert de multiples possibilités en permettant d’interroger un système en langage naturel. Leur capacité à synthétiser le contenu de la base de connaissance utilisée pour les entraîner permet d’obtenir des réponses claires, concises et formulée de façon appropriée par rapport au contexte intégrant une forme de sens commun. Même s’ils ne sont pas exempt de défauts, avec notamment la possibilité de donner des réponses "hallucinées", cohérentes à première vue mais complètement fausses, ils ouvrent de nombreuses perspectives en robotique.

Un des aspects intéressants est qu’ils sont capables de générer directement du code. Ils peuvent donc de ce fait piloter un robot en générant la séquence d’actions permettant d’atteindre un but fixé par un prompt de l’utilisateur. La décomposition de la tâche s’appuie généralement sur des mécanismes spécifiques permettant de forcer le système à procéder par étapes et à vérifier la pertinence de ces étapes.

Ils peuvent également générer du code nécessaire à l’apprentissage de nouvelles compétences. L’apprentissage par renforcement nécessite en effet de définir un espace d’état, qui donne les informations connues du robot pour prendre une décision, un espace d’actions, qui définit ce qu’il est capable de faire et une fonction de récompense qui va guider l’apprentissage des fonctions de politique associant état à action pour atteindre le but fixé. Cette fonction de récompense est elle-même un code informatique qui peut donc être généré par des modèles de langue.

Les modèles de langue sont une instance des modèles de fondation qui peuvent être multi-modaux et associer le langage à d’autres modalités comme la vision. De même, ils peuvent générer directement des actions de bas-niveau en lieu et place de programmes nécessitant de disposer de primitives pré-définies. Ces modèles dits VLA pour Vision Language Action ouvrent la perspective d’architectures bout-en-bout prenant en entrée des images venant de la caméra du robot, un prompt de l’utilisateur et donnant en sortie l’action bas niveau à réaliser, typiquement un mouvement du préhenseur du robot.

Ce projet se focalisera sur une des dimensions de l’utilisation des modèles de langues et autres modèles multi-modaux en robotique, que ce soit pour la planification (Say can ou Code as policies, par exemple), pour l’apprentissage (Eureka, par exemple) ou pour l’apprentissage bout-en-bout (π_0). Il pourra être prolongé au second semestre sous la forme d’un PAI2D qui pourra inclure des expériences sur robot réel, sous réserve d’un travail satisfaisant.

Références :

- [1] Liang, J., Huang, W., Xia, F., Xu, P., Hausman, K., Ichter, B., ... & Zeng, A. (2023, May). Code as Policies : Language Model Programs for Embodied Control. In 2023 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE. <https://arxiv.org/pdf/2209.07753>

- [2] Ahn, M., Brohan, A., Brown, N., Chebotar, Y., Cortes, O., David, B., ... & Zeng, A. (2022). Do as i can, not as i say : Grounding language in robotic affordances. arXiv preprint arXiv :2204.01691. <https://arxiv.org/pdf/2204.01691>
 - [3] Ma, Y. J., Liang, W., Wang, G., Huang, D. A., Bastani, O., Jayaraman, D., ... & Anandkumar, A. (2023). Eureka : Human-level reward design via coding large language models. arXiv preprint arXiv :2310.12931. <https://arxiv.org/pdf/2310.12931>
 - [4] Pertsch, K., Stachowicz, K., Ichter, B., Driess, D., Nair, S., Vuong, Q., ... & Levine, S. (2025). Fast : Efficient action tokenization for vision-language-action models. arXiv preprint arXiv :2501.09747. <https://arxiv.org/pdf/2410.24164>?
-

Sujet 15: La dimension temporelle de l'apprentissage dans Moodle

Encadrant : Daniela Rotelli (daniela.rotelli@lip6.fr)

Pré-requis recommandé : suivre les UEs MAPSI et COMPLEX en parallèle.

Description du sujet :

Moodle avec plus de 480 millions d'utilisateurs en septembre 2025¹ est l'une des plateformes d'apprentissage les plus utilisées au monde. L'adoption croissante de Moodle a permis de disposer d'une grande quantité de données de connexion à des fins éducatives, ce qui soulève des questions auxquelles pourrait répondre un examen approfondi et précis des comportements d'apprentissage en ligne des étudiants. Les journaux décrivent ce qui s'est passé sur une plateforme et fournissent plusieurs dimensions qui aident à caractériser les actions entreprises par les étudiants, quand et où dans le module. Pour modéliser le comportement d'apprentissage, prédire les performances et prévenir l'abandon, l'analyse temporelle s'est avérée pertinente [1, 2].

L'analyse temporelle nécessite d'évaluer le temps réellement consacré à une tâche d'apprentissage. Cette évaluation peut paraître simple au premier abord, mais elle se révèle particulièrement délicate sur Moodle. En effet, la durée d'un événement est généralement calculée comme étant la différence entre deux enregistrements consécutifs. Cela suppose qu'un journal enregistre systématiquement l'heure de début de l'action. Or, dans Moodle, si la plupart des événements sont enregistrés à leur début, d'autres sont enregistrés à leur fin. La première étape est donc de recenser puis de corriger les types d'événements qui posent problème. De plus, dans le but d'améliorer l'expérience utilisateur, de plus en plus de fonctions des plateformes d'apprentissage en ligne sont transférées vers le client, ce qui a pour effet involontaire de réduire les enregistrements de logs et peut-être de mal interpréter le comportement des étudiants. Pour éviter la perte de connaissances liées aux données, nous devons nous assurer que les données capturées reflètent précisément le comportement temporel que nous souhaitons capturer. En outre, une estimation incorrecte de la dimension temporelle peut influencer la compréhension du comportement temporel des étudiants.

La difficulté principale réside dans le fait que Moodle ne trace pas le moment où un étudiant quitte un cours (pour une pause ou pour passer à un autre sujet d'étude), ce qui empêche de calculer la durée du dernier événement déclenché par un étudiant dans un cours. De nombreuses recherches ont tenté de calculer ou d'estimer cette durée à partir de l'étude des traces, mais aucune d'entre elles ne s'est avérée vraiment valable.

1. <https://stats.moodle.org/>

Références :

- [1] Rotelli, D., & Monreale, A. (2022). Time-on-task estimation by data-driven outlier detection based on learning activities. In LAK22 : 12th International Learning Analytics and Knowledge Conference (pp. 336-346). <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3506860.3506913>
 - [2] Rotelli, D., & Monreale, A. (2023). Processing and understanding Moodle log data and their temporal dimension. Journal of Learning Analytics, 10(2), 126-141. <https://learning-analytics.info/index.php/JLA/article/view/7867>
-

Sujet 16: Choix social pour les problèmes de transport

Encadrant : Nicolas Maudet (nicolas.maudet@lip6.fr)

Pré-requis recommandé : aucun.

Description du sujet :

Les problèmes de transport nécessitent régulièrement d'aggréger les préférences ou contraintes d'utilisateurs afin de garantir des propriétés d'efficacité et d'équité. Ce sujet propose de faire une synthèse de quelques articles abordant la question par le biais du choix social.

Références :

- [1] Martin Bullinger, Edith Elkind, and Mohamad Latifan Towards Fair and Efficient Public Transportation : A Bus Stop Model. <https://arxiv.org/abs/2411.08784>
 - [2] Finding socially best spanning trees. April 2011 Theory and Decision 70(4) :511-527. Andreas Darmann, Christian Klamler, Ulrich Pferschy.
 - [3] Fair Railway Network Design. Zixu He, Sirin Botan, Jérôme Lang, Abdallah Saffidine, Florian Sikora, Silas Workman
-

Sujet 17: Retour d'information rapide pour améliorer l'enseignement et l'apprentissage

Encadrant : Daniela Rotelli (daniela.rotelli@lip6.fr)

Pré-requis recommandé : aucun.

Description du sujet :

Dans un passé récent, nous assistons aux premières étapes de l'implémentation de l'IA générative (GenAI) dans les systèmes de gestion de l'apprentissage (LMS). Malheureusement, les implémentations sont liées à une IA à usage général et ne peuvent pas répondre à des questions spécifiques à l'environnement du cours. Pour répondre à ce défi, une technique largement adoptée consiste à enrichir les large language models (LLM) avec des connaissances contextuelles, notamment via la retrieval-augmented generation (RAG), qui consiste à combiner les capacités génératives des LLM avec des techniques de recherche d'information. Le RAG injecte dynamiquement des informations dans les prompts données aux LLM sans modifier les poids du modèle neuronal sous-jacent (par exemple, les Transformers). Son utilisation peut réduire les hallucinations et surpasser les approches traditionnelles de fine-tuning en intégrant plus efficacement des connaissances externes. Cela le rend particulièrement pertinent pour des applications nécessitant des mises à jour fréquentes. Les implémentations actuelles de RAG reposent sur la recherche de similarités entre une requête, encodée sous forme de vecteur, et des documents existants, également encodés en vecteurs, en utilisant une mesure de distance (par

exemple, cosinus, distance euclidienne). Cependant, cette méthode est inadéquate pour les requêtes complexes, en particulier lorsqu'il est nécessaire de fusionner des informations provenant de différentes sources [1].

Des travaux récents mettent en évidence l'intérêt d'utiliser des graphes de connaissance (KG) pour le RAG. Le travail de Wang et al. [1] propose KnowledGPT, un système qui permet de connecter GPT à des bases de connaissances externes (telles que Wikipédia et son graphe de connaissances Wikidata, CN-DBPedia, etc.). KnowledGPT implémente une méthode dite *program of thought prompting* (PoT), qui transforme la requête d'un utilisateur en code Python, interrogeant ainsi des bases de connaissances externes. D'autres recherches ont proposé le cadre RET-LLM [2], qui construit un graphe de connaissances personnalisé en extrayant des triplets à partir de dialogues passés et en bâtissant une mémoire qui est ensuite consultée pour les dialogues futurs.

Afin de mieux répondre aux besoins d'apprentissage des étudiants et de soutenir les enseignants dans le développement de parcours pédagogiques efficaces, une idée émergente, qu'il serait intéressant d'explorer, consiste à renforcer les capacités des LLM grâce à des connaissances structurées basées sur des graphes de connaissances dynamiques (DKG).

Références :

- [1] Wang, X., Yang, Q., Qiu, Y., Liang, J., He, Q., Gu, Z., ... & Wang, W. (2023). Knowledgpt : Enhancing large language models with retrieval and storage access on knowledge bases. arXiv preprint arXiv :2308.11761. <https://arxiv.org/abs/2308.11761>
- [2] Modarressi, A., Imani, A., Fayyaz, M., & Schütze, H. (2023). Ret-llm : Towards a general read-write memory for large language models. arXiv preprint arXiv :2305.14322. <https://arxiv.org/abs/2305.14322>

Sujet 18: Allocation dynamique de tâches multi-robot

Encadrant : Aurélie Beynier (aurelie.beynier@lip6.fr)

Pré-requis recommandé :

Description du sujet :

Le déploiement de flottes de robots autonomes permet de résoudre des missions collaboratives de manière efficaces comme l'exploration de terrains inconnus ou de zones sinistrées, la collecte de colis, le transport de personnes ou de marchandises.

L'allocation de tâches multi-robots doit être efficace computationnellement et produire des solutions performantes à l'exécution tout en respectant les contraintes applicatives. Les approches d'allocation de tâche multi-robots doivent ainsi tenir compte de les défis de la robotique en conditions réelles : incertitude quant à la réussite de l'exécution des tâches, contraintes temporelles telles que l'ordonnancement et les fenêtres de temps, ainsi que l'apparition dynamique de tâches en ligne. Dans de nombreux contextes applicatifs, les tâches à réaliser ne sont en effet pas totalement connues a priori et sont découvertes au fur et à mesure de l'exécution.

Dans ce sujet, nous nous intéresserons aux approches permettant d'allouer dynamiquement, entre des robots, des tâches qui apparaissent au fur et à mesure de l'exécution. Dans de tels systèmes, il est nécessaire que les robots puissent rapidement se répartir les nouvelles tâches en tenant compte des tâches déjà allouées et d'éventuelles contraintes entre les tâches. On s'intéressera particulièrement aux garanties de performances fournies par les approches existantes et aux contextes applicatifs pouvant être pris en compte par les différentes approches.

Références :

- [1] Dynamic Multi-Robot Task Allocation under Uncertainty and Temporal Constraints, Shushman Choudhury, Jayesh K. Gupta, Mykel J. Kochenderfer, Dorsa Sadigh, Jeannette Bohg, Robotics Science and Systems (RSS) 2020