



Présentation de l'équipe Almost Algorithmique et Modèles Stochastiques

Mi-parcours du laboratoire DAVID

Équipe Almost

L'équipe est constituée de 11 membres titulaires :

- ▶ David Auger (MdC)
- ▶ Dominique Barth (Pr)
- ▶ Pierre Coucheney (MdC)
- ▶ Jean-Michel Fourneau (Pr)
- ▶ Danièle Gardy (Pr)
- ▶ Leïla Kloul (MdC, HDR)
- ▶ Dana Marinca (MdC)
- ▶ Thierry Mautor (MdC, HDR)
- ▶ Franck Quessette (MdC)
- ▶ Yann Strozecki (MdC, Resp.)
- ▶ Sandrine Vial (MdC)

Autres Membres

Actuellement 12 doctorants font partie de l'équipe.

Membres associés :

- ▶ Benjamin Cohen (LINEACT - CESI)
- ▶ Marc-Antoine Weisser (LISN-CentraleSupélec)
- ▶ Josu Doncel (Université du Pays Basque)

Ingénieur de recherche, Post-Doc ou ATER :

- ▶ Wilfried Ehounou, post-doctorant au LINEACT-CESI et DAVID
- ▶ Maël Guiraud, ingénieur d'études pour le laboratoire Hyphes

Thématique

Almost pour **algorithmique** et **modèles stochastiques** :
spécialisation en algorithmique discrète, et modélisation de
systèmes avec du hasard.

Démarche typique :

- ▶ Modélisation d'un problème industriel, venant d'une autre discipline ou théorique
- ▶ Étude de sa complexité
- ▶ Conception d'algorithmes pour le résoudre
- ▶ Validation expérimentale des performances sur des données réelles ou synthétiques

Méthodes

Pour résoudre **efficacement** les problèmes que nous étudions, nous utilisons de nombreuses approches :

- ▶ des algorithmes polynomiaux pour un paramètre fixé ou un sous-ensemble d'instances
- ▶ des heuristiques gloutonnes, de recherche locale ou issues de l'apprentissage
- ▶ des algorithmes faiblement exponentiels
- ▶ des algorithmes randomisés
- ▶ des algorithmes d'approximation
- ▶ des algorithmes d'énumération de solutions

Domaines d'expertise

- ▶ **Algorithmique discrète, théorie des graphes, complexité** : Distance entre graphe et line graphe. Comptage de motifs dans des graphes aléatoires. Complexité d'énumération.
- ▶ **Modèles stochastiques** : Chaîne de Markov et processus de décision Markovien. Marche de rotor.
- ▶ **Théorie des jeux** : Jeu de potentiel, jeu stochastique simple. Calcul de stratégie optimale ou d'équilibre de Nash.
- ▶ **Sureté de fonctionnement** : Fiabilité des systèmes, algèbre de processus.

Projets : ANR AGGREG, DIGICOSME

Collaborations : Université de Caen, Université de Paris, TU WIEN, École Polytechnique, INRIA/ENS, INRIA/Lyon 1, INRIA/Lille, Télécom SudParis, Université Paris-Saclay, Upec ...

Focus sur les couplages dynamiques

Qu'est ce qu'un couplage dynamique ?

- ▶ Des entités arrivent selon un ou des processus stochastiques.
- ▶ Les entités sont caractérisées par un type.
- ▶ Un graphe biparti de *compatibilité* représente les types d'entités qui peuvent interagir.
- ▶ Si une entité peut, à son arrivée, interagir avec deux entités distinctes, une règle (typiquement FIFO) permet de choisir l'interaction.
- ▶ Deux entités qui interagissent disparaissent.

Applications : Greffe d'organes, call center, taxi, partage de véhicules ...

Analyse d'un processus de couplage dynamique

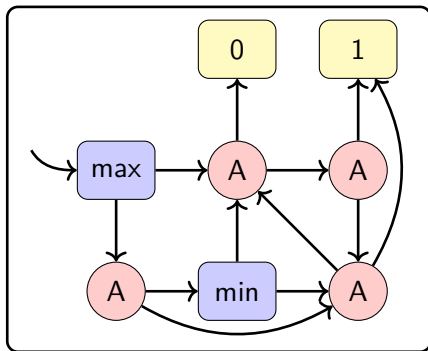
Calcul du nombre moyen de ressources disponibles.

- ▶ Un paradoxe (de type Braess) sur les graphes de matching sans boucle :
On peut **ajouter** une arête au graphe de compatibilité et avoir un nombre moyen de ressources qui **augmente** alors qu'on augmente les possibilités de matching
- ▶ Marche aléatoire sur les stables du graphe biparti des matching (graphes avec boucles).
- ▶ Distribution stationnaire multiplicative (graphes avec boucles).

Focus sur les Simple stochastic game (SSG)

Un jeu stochastique simple est défini par un graphe orienté avec :

- ▶ trois ensembles de sommets V_{MAX} , V_{MIN} , V_{AVE} de degré sortant 2
- ▶ deux sommets “puits” de valeur 0 et 1

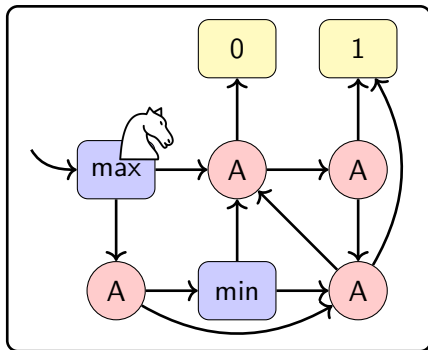


Deux joueurs : MAX et MIN, et le *hasard*.

Règles d'un SSG

Une partie est une suite de déplacement d'un *jeton* sur les sommets du graphe :

- ▶ le joueur MAX veut minimiser la valeur du puits atteint.
- ▶ le joueur MIN veut minimiser la valeur.

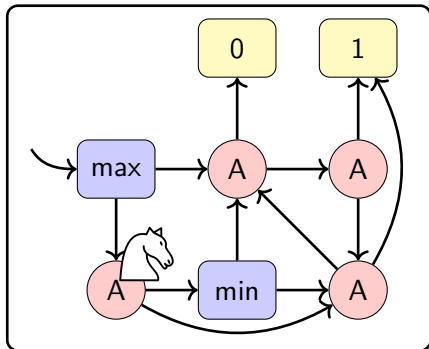


Sur un sommet MAX, le joueur MAX décide où aller ensuite.

Règles d'un SSG

Une partie est une suite de déplacement d'un *jeton* sur les sommets du graphe :

- ▶ le joueur MAX veut minimiser la valeur du puits atteint.
- ▶ le joueur MIN veut minimiser la valeur.

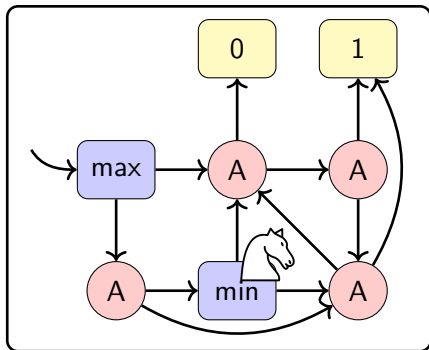


Sur un sommet AVE le sommet suivant est choisi aléatoirement.

Règles d'un SSG

Une partie est une suite de déplacement d'un *jeton* sur les sommets du graphe :

- ▶ le joueur MAX veut minimiser la valeur du puits atteint.
- ▶ le joueur MIN veut minimiser la valeur.

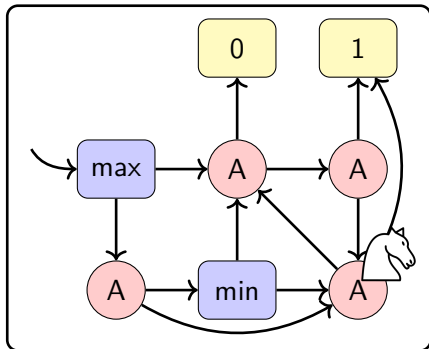


Sur un sommet MIN, le joueur MIN décide où aller ensuite.

Règles d'un SSG

Une partie est une suite de déplacement d'un *jeton* sur les sommets du graphe :

- ▶ le joueur MAX veut minimiser la valeur du puits atteint.
- ▶ le joueur MIN veut minimiser la valeur.

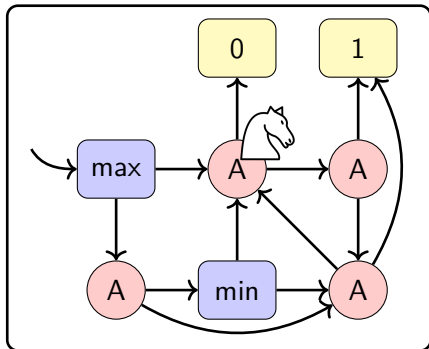


Etc.

Règles d'un SSG

Une partie est une suite de déplacement d'un *jeton* sur les sommets du graphe :

- ▶ le joueur MAX veut minimiser la valeur du puits atteint.
- ▶ le joueur MIN veut minimiser la valeur.

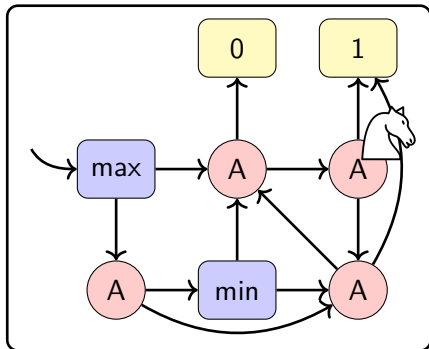


Etc.

Règles d'un SSG

Une partie est une suite de déplacement d'un *jeton* sur les sommets du graphe :

- ▶ le joueur MAX veut minimiser la valeur du puits atteint.
- ▶ le joueur MIN veut minimiser la valeur.

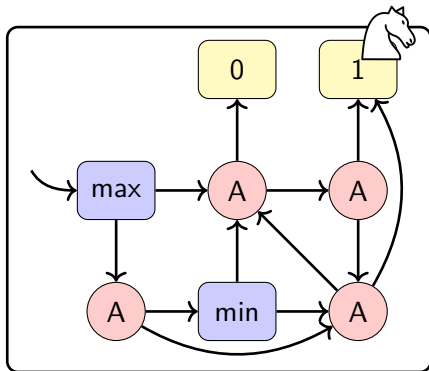


Etc.

Règles d'un SSG

Une partie est une suite de déplacement d'un *jeton* sur les sommets du graphe :

- ▶ le joueur MAX veut minimiser la valeur du puits atteint.
- ▶ le joueur MIN veut minimiser la valeur.



Etc.

Calcul des stratégies optimales

Objectif : calculer la stratégie optimale pour MAX.

Applications : résoudre le Monopoly, les petits chevaux, vérification et synthèse de programmes.

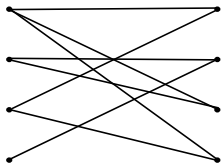
Résultats :

- ▶ Algorithme avec la meilleure complexité randomisée
- ▶ Meta-Algorithme pour unifier les algorithmes d'itération de stratégie avec une meilleure complexité paramétrée
- ▶ Algorithme avec la meilleure complexité déterministe

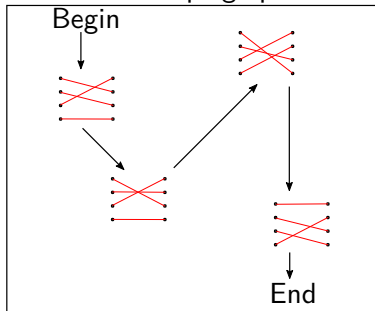
Focus sur l'énumération

- **Problème d'énumération** : lister toutes les solutions plutôt que de décider s'il y en a une.
- **Mesures de complexité** : **temps total**, **délai** entre les solutions, **espace**.
- **Motivations** : base de données, logique, comptage, optimisation, biologie, chimie, datamining ...

Entrée : un graphe.



Sortie : un couplage parfait.



Modèles d'une formule DNF

Problème en énumération : gestion des répétitions.

- ▶ Variables : X_1, \dots, X_n
- ▶ Un terme : $T = X_1 \wedge \neg X_2 \wedge X_4$
- ▶ Un modèle : pour T , $(1, 0, 1, 1)$ et $(1, 0, 0, 1)$
- ▶ Une formule DNF : $D = \bigvee_{i=1}^m T_i$

Lister les modèles d'un terme : Code de Gray, $O(1)$ par solution.

$X_1 \wedge X_3$ et $\neg X_2 \wedge X_3$ ont $(1, 0, 1)$ comme modèle commun.

Gestion des redondances coûte de l'espace et $O(m)$ par solution.

Résultat : un algo de délai sous-linéaire et sans mémoire pour générer les modèles de DNF.

Domaines d'application

- ▶ **Mobilité** : Flotte de taxis, gestion de la circulation, logistique, planification d'horaires.
- ▶ **Énergie** : Maintenance prédictive, prédiction de topologie, optimisation de topologie.
- ▶ **Réseaux télécoms** : Latence dans le Cloud RAN, formation de paquets optiques, gestion de l'énergie.
- ▶ **Cheminformatique et Bioinformatique** : Topologie statique et dynamique des molécules.

Projets : Laboratoire Hyphes, CONSOSMART et EPINE, Labex CHARMMAT, Projet IA pour habiter le futur

Collaborations : DCBrain, Védécom, Région IdF, CASQUY, VGP, GPS, Printemps, CESI, INSA Lyon, INPT Rabat, LACL, NOKIA, LAMBE Evry, LISN Orsay, ILV Versailles . . .

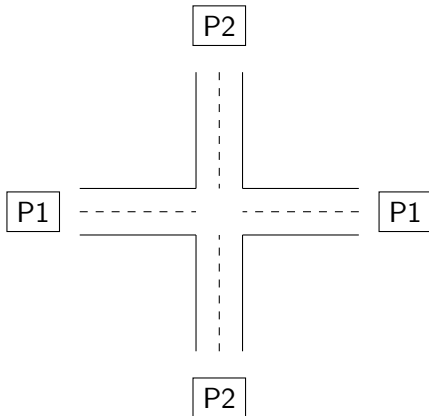
Focus sur la mobilité

Gestion de la mobilité urbaine multi-modale en utilisant des données de trafic temps réel.

- ▶ Méthode de contrôle du trafic
- ▶ en temps-réel
- ▶ à l'échelle d'une ville

→ Réduire le temps d'attente global

Modélisation - TSC



- ▶ Discipline du *Traffic Signal Control*
- ▶ Ajuster les phases pour "optimiser" le trafic

RL-TSC - Apprentissage par Renforcement

On considère un *agent* dans un environnement markovien. A chaque étape t :

- ▶ L'agent observe un état s_t
- ▶ L'agent effectue une action a_t
- ▶ Le système transitionne dans un état s_{t+1}
- ▶ L'agent reçoit une récompense r_t

L'objectif de l'agent est d'établir une *politique* $\pi : \mathcal{S} \mapsto \mathcal{A}$ maximisant ses récompenses cumulées.

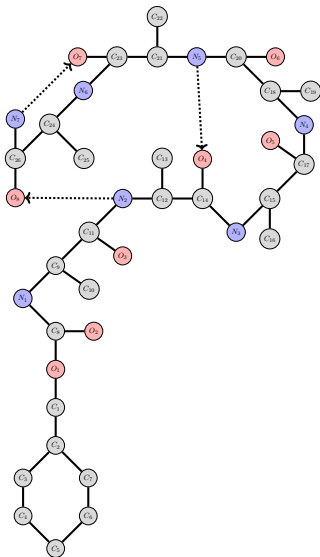
Résolution par le calcul d'un réseau de Deep Q-Learning.

Focus sur un modèle de molécule

Une molécule à un instant i est un graphe, $G_i = (V, E \cup A_i)$:

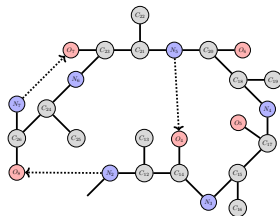
- V les atomes
- E les liaisons fixes
- A_i les liaisons temporaires

Les liaisons temporaires créent des cycles dans le graphe qui engendrent des contraintes structurales.

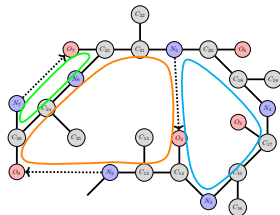


Les cycles d'une molécule

L'ensemble de cycles de G_i est vaste, on utilise une **base de cycles** pour réduire cet ensemble.



(a) Zoom sur les liaisons temporaires du graphe



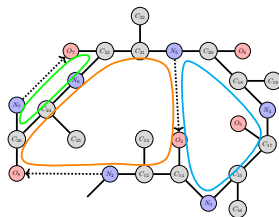
(b) Une base de cycles

Les cycles d'une molécule

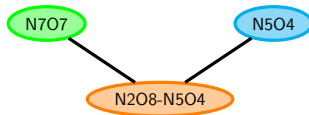
L'ensemble de cycles de G_i est vaste, on utilise une **base de cycles** pour réduire cet ensemble.

Définition d'un **graphe de cycles** pour chaque G_i :

- La base forme les sommets
- \exists arête si les cycles partagent au moins une arête dans G_i .



(a) Une base de cycles



(b) Graphe de cycles

Problèmes de graphes moléculaires

Base de données de réactions :

On veut comparer des molécules (isomorphisme de sous-graphe), pour détecter des réactions possibles dans une base de données. Pour accélérer, représentation de la molécule par le graphe des cycles.

Molécule dynamique :

On étudie une suite de graphes qui illustrent les mouvements de la molécule (changement des liaisons faibles) : on veut reconnaître les changements importants.

On regroupe les cycles qui peuvent être associés aux mêmes contraintes pour la molécule : problème Min-Polymorphisme.

Bilan et animation Scientifique

- ▶ Un séminaire régulier (une dizaine d'exposés par an).
- ▶ Des groupes de travail thématique, dans le cadre de la Fédération SIHS.
- ▶ Organisation d'un programme de recherche interdisciplinaire sur la mobilité urbaine à l'institut Pascal.
- ▶ Participation à des program committees, des reviews, des exposés pléniers ...
- ▶ Participation à de nombreux projets de recherche.

Quelques données chiffrées depuis 2018.

	2018	2019	2020	2021	Total
Doctorats, HDR	2	1	2	3	8
Livres, chapitres	1	0	0	0	1
Journaux internationaux	6	7	6	5	24
Conférences	8	8	7	2	25
Brevets	1	1	0	0	2