

Raphaël Fournier-S'niehotta

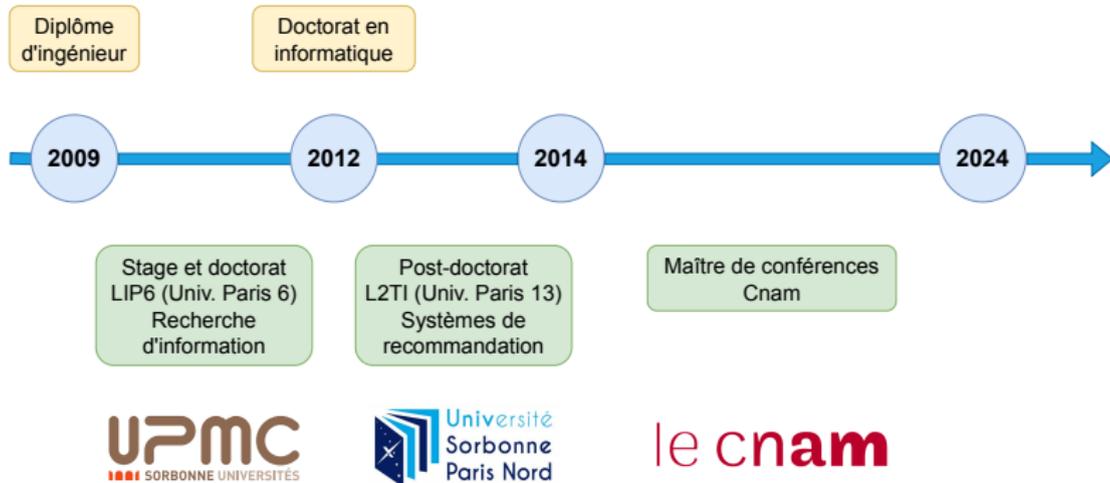
le **cnam**

**Modéliser avec des graphes,
pour l'informatique musicale
et la recommandation**

Habilitation à diriger des recherches – 10/09/2024

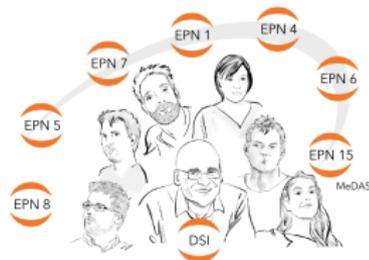
- 1 Parcours
- 2 Recherche d'information musicale
- 3 Graphes et recommandation
- 4 Perspectives

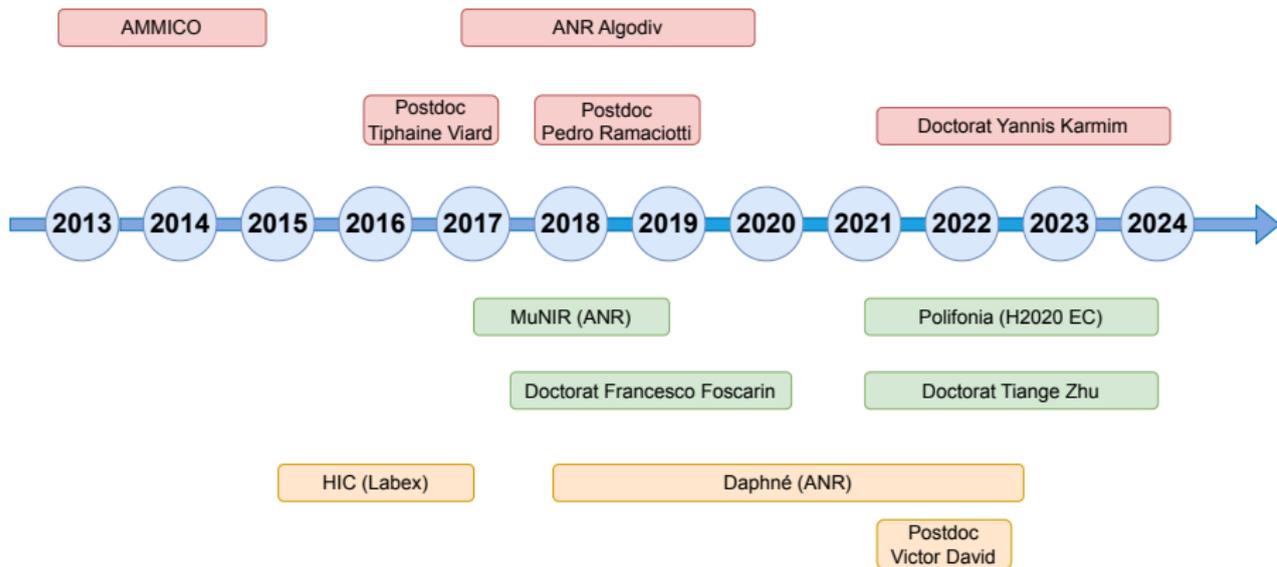
Parcours

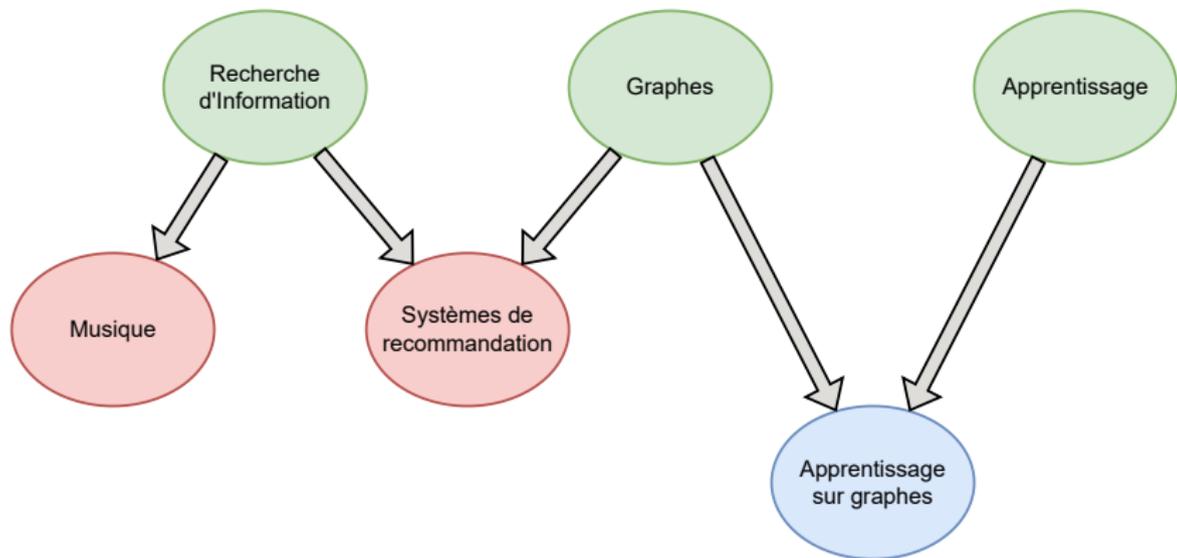


Enseignement

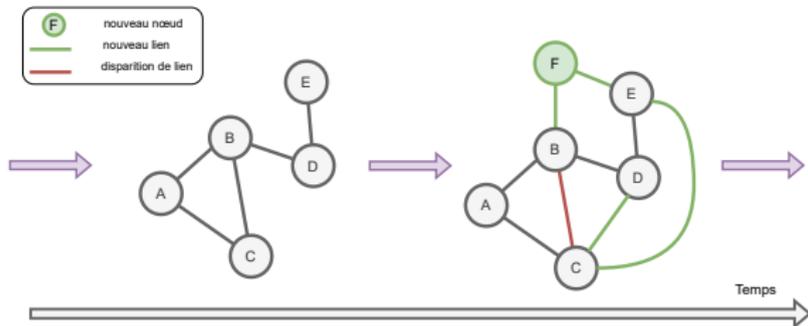
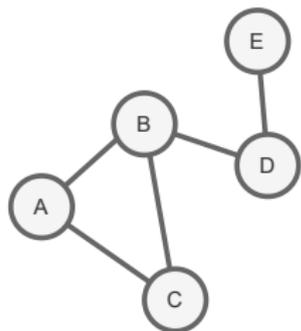
- Formation continue : Data Scientist & IA
- Formation initiale : ingénieurs en alternance







Les réseaux complexes



Propriétés spécifiques

- centralité d'un nœud
- force des liens
- groupes de nœuds
- longueur de chemins
- ...



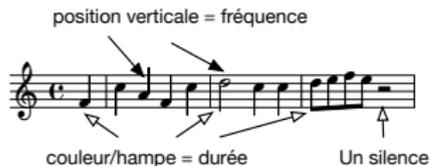
Motivation

- Représentation d'information
- Compréhension et interprétation

Recherche d'information musicale

Une note = un son (**fréquence**, intensité, timbre) + une durée

Notation symbolique :



Une *voix* :

- séquence de notes (hauteur / durée), silences, accords
- avec/sans accompagnement

Une *partition* :

- synchronisation de voix (éventuellement une seule)
- des choix de rendu (portées, altérations, têtes de notes, barres de mesure, etc.)



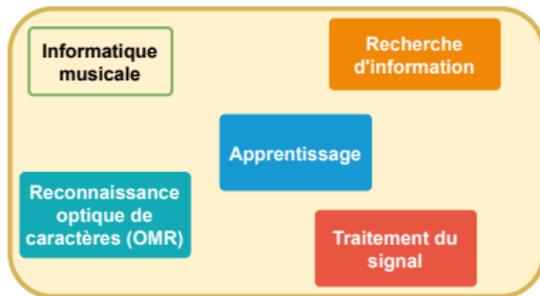
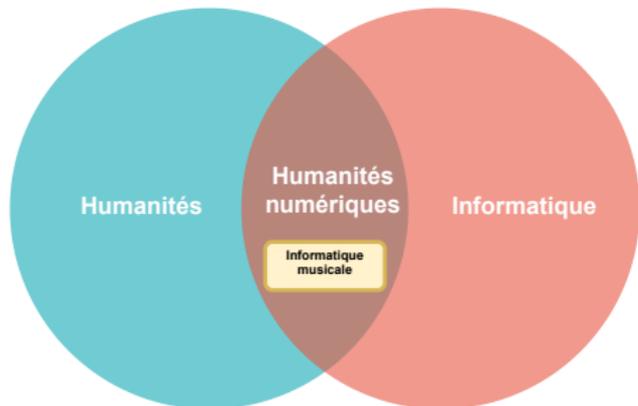
- nature :
 - interface
 - ensemble de signes à déchiffrer pour accéder au sens
- but :
 - communication des intentions de l'auteur
 - pas seulement (conservation, ...)
- inconvénient :
 - perte d'information liée aux biais culturels
- avantage :
 - information structurée (voix, métrique, instruments) → bases de données

Supposing, for instance, that the fundamental relations of pitched sounds in the science of harmony and of musical composition were susceptible of such expression and adaptations, **the [Analytical Engine] might compose elaborate and scientific pieces of music of any degree of complexity or extent.**

Ada Lovelace (1843)



...



Objectifs généraux

- Transmission, pour reproduction
- Conservation du patrimoine
- Accès à l'information

Ambitions informatiques

- | | |
|-----------------------|------------------------------|
| ■ théorique | ■ applicatif |
| ■ représentations | ■ exploration de collections |
| ■ passage à l'échelle | ■ qualité des données |
| ■ modèles et formats | ■ analyse musicale |

Modalités

- public visé
- usages & besoins



1. modélisation : représenter l'information

- Séries temporelles [FRT16b; FRT17]
- Modèle de données [FRT16a; FRT17]

2. interrogation : manipuler l'information

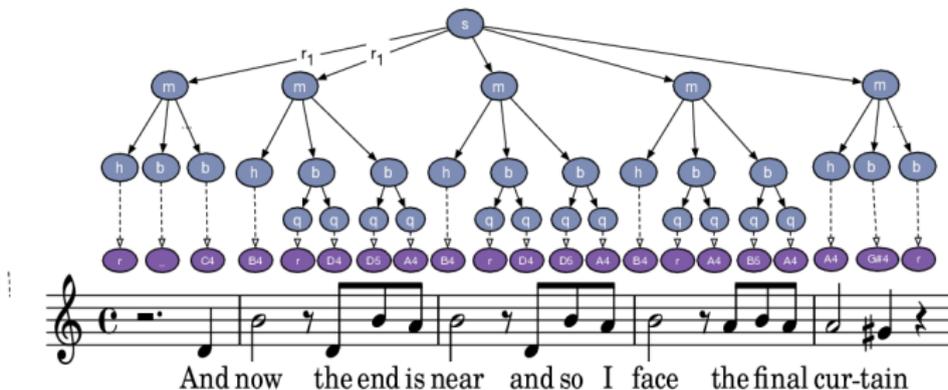
- algèbre [FRT16c; FRT16b]
- sérialisation & recherche d'information [Zhu+22]

3. production de partitions : améliorer l'information

- qualité de la transcription [FFJ19]

Projets : ANR MuNIR & H2020 Polifonia
Doctorats : F. Foscarin (2017–2020) & T. Zhu (2021–2024)

My way (1969, P. Anka)

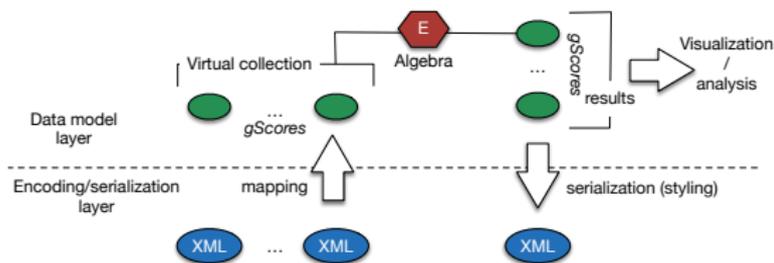


- extraire le contenu musical
- arbre et série temporelle

Comme d'habitude (1967, C. François)



$\langle 9, -9, 9, -2, 2, -9, 9, -2, 2, -2, 2, -2, -1 \rangle$



ScoreAlg ($\oplus, \mu, \sigma, \circ, \text{map}$) avec cinq opérateurs :

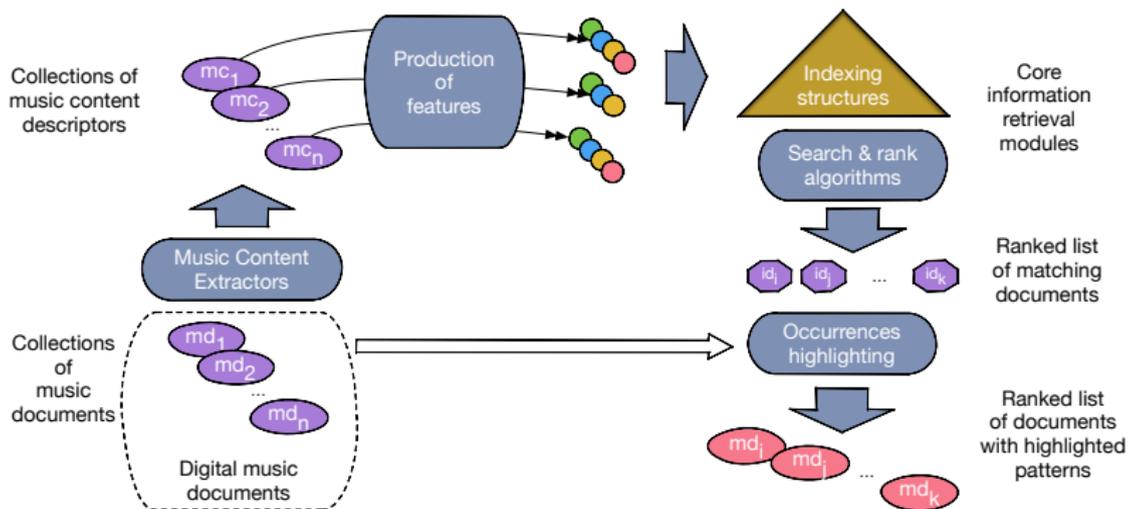
- \oplus : synchronisation de deux partitions
- μ : projection d'une partition sur une ou plusieurs voix
- σ : sélection
- \circ : fusion de deux partitions
- map : Application d'une fonction

- Propriétés :
 - fermeture (chaque opérateur prend une ou deux partitions et produit une partition)
 - complétude

Sélectionner les parties de violon des quatuors de Haydn :

```
for $s in Quartet
where $s/composer="Haydn"
return $s/title,
  Score($s/music/v1, $s/music/v2) as music
```

The image displays two pages of a musical score for Haydn's string quartets. The left page shows the first two systems of staves, including Violin I (V1), Violin II (V2), Viola (Vla), and Cello/Double Bass (Vcl/Bs). The right page shows the next two systems, including Flute (Fl), Piccolo (Picc), Oboe (Ob), and Bassoon (Fag). Red arrows originate from the Violin I and Violin II staves on the left page and point to the corresponding Violin I and Violin II staves on the right page, indicating the selection of these parts. The score includes various musical notations such as notes, rests, and dynamic markings.



Étapes

- Extraction de caractéristiques
- Indexation (*n-grams*)
- Classement (mesure de similarité)

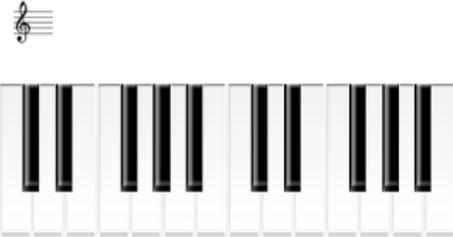
[Zhu+22; ZFR22]

Search Results

You may input a query with a piano keyboard or in abc notation. Pick the suitable tab below.

Piano **ABC** Text

Inventions Chromatic Include mirror pattern



Clear last note | Clear all
Last note duration: 4 tps | 2 tps | 1 tps | 1/2 tps | 1/4 tps | 1/16 tps | dotted note

Statistics: 10 matching patterns found in 3 documents.

Title: Invention 1
Composer: Johann Sebastian Bach
See full score of the document: ["inven01"](#)

Invention 1

Arkana Schreyer [Bach
1883-1950]



Composers
Not selected
Johann Sebastian Bach

Instruments
Not selected
Unknown Instrument

Key mode
Not selected
Minor
Major

Key tonic name
Not selected
C
A
...

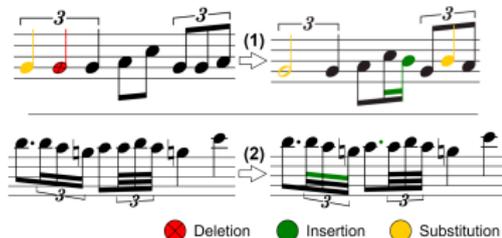
Production de partitions, à partir d'un autre médium



diff musical

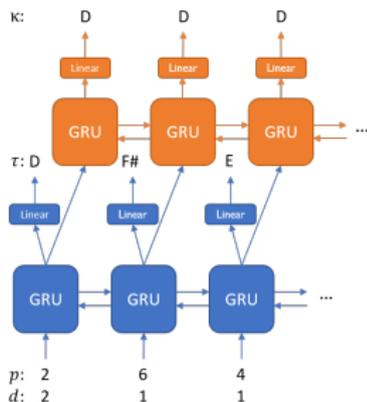
[FFJ19]

- identifier les différences entre deux partitions
- verrou : distinguer, dans la notation, contenu musical et éléments de rendu
- approche : arbres et distance d'édition spécifiques



pitch-spelling et key-signature estimation [FAF21]

- transcrire du MIDI vers la notation
- verrou : notation "parcimonieuse" et "lisible"
- approche : modèle RNN
- originalité : méthode *complète*, à l'état de l'art



Contributions

- avancées conceptuelles
- approche générique
- développement d'outils appliqués

Limites

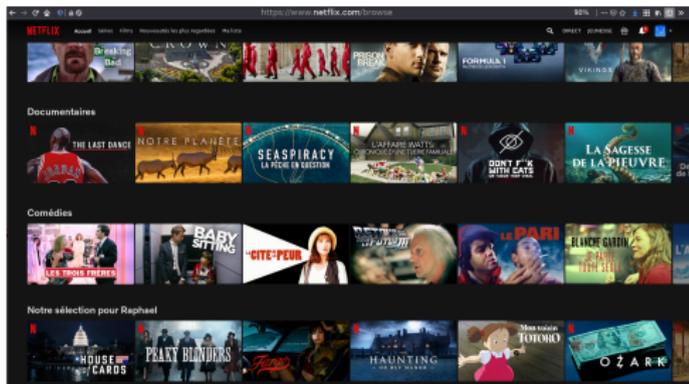
- quelques grands projets fédèrent les travaux universitaires
mais il manque un écosystème structuré avec la société civile
- intégration d'outils divers
 - entrées, sorties, organisation

Perspectives

- Génération de musique symbolique
- Transcription de musique polyphonique
- "Wikipédia" de la musique
 - plusieurs Musipedia
 - BnF (Gallica)

Graphes et recommandation

Recommandation



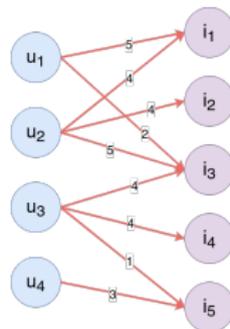
Pourquoi recommander ?

- reproduction d'un modèle hors ligne
- surcharge d'information
- expérience utilisateur
- longue traîne

Interdisciplinarité

- psychologie (besoins, goûts)
- marketing (accroissement des ventes)
- design (interfaces, graphiques ou non)
- statistiques (probabilités, modélisation)
- **informatique (recherche d'information)**

	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5
u_1	5	?	2	?	?
u_2	4	4	5	?	?
u_3	?	?	4	4	1
u_4	?	?	?	?	3



Défis informatiques

- satisfaction des utilisateurs (métriques d'évaluation)
- performances de calcul :
 - Taille des matrices (passage à l'échelle)
 - Matrices creuses
- interprétabilité des résultats

Projet ANR Algodiv & bourse MESR

Post-docs T. Viard (2016–2017), P. Ramaciotti (2018–2019)

Doctorat Y. Karmim (2021–)

Quelles sont les conséquences, individuelles et collectives, de ces choix algorithmiques ?

Quels sont les paramètres cruciaux au cœur de ces systèmes ?

Axes de recherche

- **développement de systèmes de recommandation** reposant sur des modélisations avec des graphes ;
- utiliser les structures de graphes mobilisées pour **comprendre les effets des systèmes de recommandation**, expliquer leurs suggestions, évaluer leur impact.

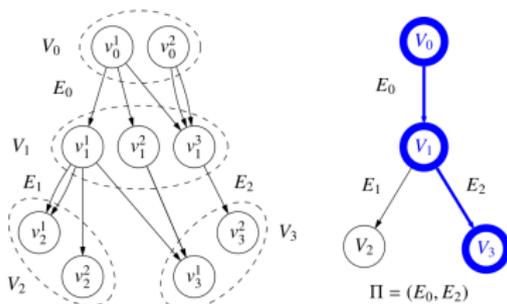


Contributions

- étude formelle de la diversité (mesure alternative)
- analyse de l'apport de modèles de graphes à la recommandation
 - sans apprentissage (Link Streams, Heterogeneous Informations Networks)
 - avec apprentissage (Graph Neural Networks)

■ Diversités individuelle et collective

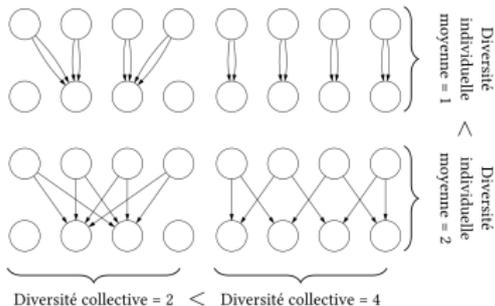
- "Bulle personnelle"
- Disparition d'objets, objets-stars



■ Modèle : marches aléatoires sur H.I.N

■ Apports :

- formalisation unifiée
- effets de la structure du réseau



Motivation

- Créer des représentations apprises par la machine
- Encoder directement ce qui est manuel
- Technique performante

Limites actuelles

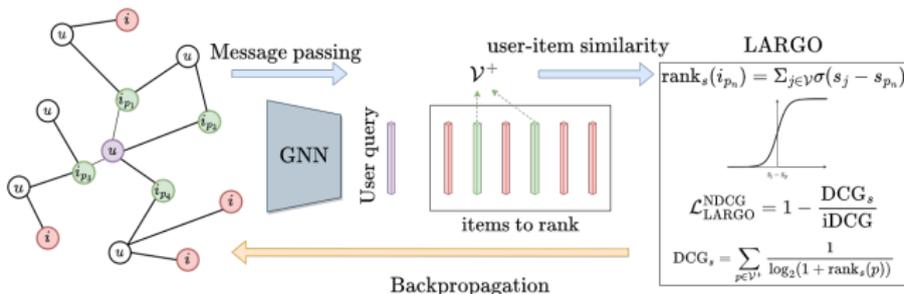
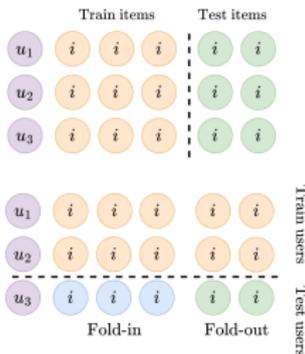
- Différentes communautés :
 - travail matriciel avant tout
 - peu de prise en compte des avancées réseaux complexes
 - combat "données vs structure"
- "Boîte noire"

Problématique

- recommandation évaluée avec NDCG (rang), entraînée avec loss BPR
- décalage entraînement-objectif

Contributions

- *loss* centrée sur le rang dès l'entraînement
- *loss* décomposable → apprentissage par lots
- Échantillonnage de négatifs par Personalized PageRank
- Entraînement avec protocole inductif



Contributions

- analyses de modèles originaux
- formalisation générique de la notion de diversité
- convergence entre apprentissage et réseaux complexes

Limites

- datasets publics seulement
- évolution rapide de la recommandation
 - modèles (du deep learning aux LLM)
 - concurrence des acteurs privés (puissance, données)

Perspectives

- Recommandations hyper-individualisées ?
 - Quel accès pour les universitaires ?
 - Quelles conséquences sociales ?

Perspectives

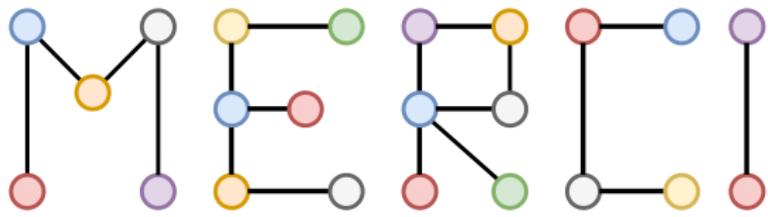
Mieux comprendre l'effet des algorithmes (de recommandation), pour éclairer les choix sociaux

Approche

- Proposer une typologie des graphes dynamiques
- Associer des architectures d'apprentissage adaptées à chaque type

Défis

- Données
 - mieux classer les graphes dynamiques (discrets/continus, fréquences de changements, etc.)
- Paramètres des modèles :
 - étudier leur impact individuel sur l'apprentissage (par exemple, en recommandation)



- Modèle : temporal Knowledge Graph
- Extraction de conflits
- Inférence probabiliste (MAP) pour trouver l'ensemble de faits le plus probable
- Application : Bases de données prosopographiques (histoire)

