

## APPEL A PROJETS RECHERCHE 2022

FEDERATION DE RECHERCHE AGORANTIC  
«CULTURE, PATRIMOINES, SOCIÉTÉS NUMÉRIQUES »

### Attention :

- Ne pas dépasser 5 pages
- Transmettre le fichier au format PDF intitulé : ACRONYME-AAP-Agorantic-2022.pdf
- Inscrire et déposer votre projet sur la plateforme dédiée selon le lien suivant avant le 30 octobre 2021 : <https://easychair.org/conferences/?conf=aapagorantic2022>

Titre	Modèles de représentation de flux géographiques dynamiques complexes
Acronyme	GeoDyn
Nom du/des porteur(s)	Didier Josselin & Mathilde Vernet
Laboratoires associés	ESPACE & LIA + PACTE (Grenoble)
Budget demandé	5800 €
Résumé  Max. 1 000 caractères espaces compris	<p>Le projet vise à identifier, comparer et mixer les approches de la Time Geography et les graphes dynamiques en recherche opérationnelle, pour représenter les évolutions des flux géographiques complexes. Les déplacements sont décomposés en graphes de différents niveaux sémantiques : graphes viaires (géographiques), graphes de réseaux sociaux (connexions, créations et éclatements de groupe), graphes plus abstraits (recherche de chemins optimisés...).</p> <p>Les objectifs sont d'abord théoriques et méthodologiques : comment trouver une représentation intelligible des déplacements individuels et agrégés des individus, exploitable pour des modèles d'optimisation ? Deux applications sont identifiées. Une première concerne les mobilités de personnes et de groupes au rythme des pulsations urbaines et des motifs de déplacement (travail, achats, loisir...). Une seconde fait suite aux travaux sur l'autocopartage où une première modélisation de flot de véhicules a été développée à l'aide de modèles géographiques gravitaires. Les données massives de flux sont recueillies sur des sites publics ou dans des bases de données libres.</p>

### 1. Contexte, positionnement, objectif(s)

Les déplacements dans l'espace géographique restent, pour la majeure partie d'entre eux, représentés dans un plan. Le temps peut y être apprécié par des animations (par exemple réalisées dans des simulations se basant sur des règles entre agents dans les Systèmes Multi-Agents) ou des gestions d'états par des lignes de temps interactives permettant de refaire vivre un processus historique à différentes vitesses et granularités temporelles (Chardonnel, 2021). À notre connaissance, seule la Time Geography (Hagerstrand, 1967) a proposé une représentation originale de l'espace-temps par un cube, souvent appelé aquarium, où l'espace géographique constitue la base de coordonnées X et Y et le temps est représenté dans la 3<sup>ème</sup> dimension Z (figure 1). On y voit ainsi les mouvements individuels dans l'espace, le moment où les personnes s'isolent pour aller au travail, après avoir amené les enfants à l'école, puis reviennent en famille le soir au

foyer. Toutefois, cette représentation souffre d'une difficulté liée à la 3D : lorsque les personnes se regroupent, comment agréger leur stationnement ou déplacement commun ? Comment identifier le changement identitaire de structure de l'« objet » en déplacement ? Avant cela, comment s'est-il formé ? Quel est le réseau social sous-jacent, en termes de communication ou de structure familiale ?

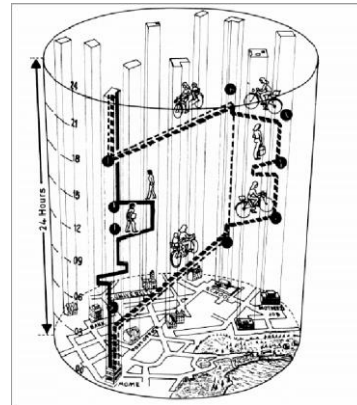
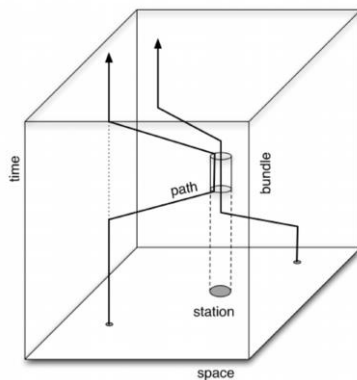


Figure 1. Le cube de représentation spatio-temporelle de la Time Geography

Côté modélisation informatique, on dispose d'objets très riches pour représenter les individus et leurs relations, notamment grâce à la théorie des graphes. Les graphes sont des objets manipulés et étudiés par des mathématiciens et informaticiens et représentent des entités et les relations entre elles. L'extension des graphes aux graphes dynamiques permet l'ajout d'une dimension temporelle à ces objets de manière à disposer d'une modélisation plus fine des relations entre individus puisque cela permet de représenter ces relations au cours du temps, et tous les éléments sont susceptibles d'évoluer dans le temps. Les graphes dynamiques (ou temporels) ont de nombreuses applications dans des domaines variés (Holme, 2015).

Lorsque le temps est vu comme une variable discrète il est possible de considérer le graphe dynamique comme une succession de graphes statiques dans lesquels les relations, les sommets et leurs poids respectifs évoluent dans le temps, et cela peut se représenter visuellement comme dans la première figure ci-dessous. Ce type de graphe dynamique peut aussi se représenter par un seul et même graphe dans lequel les sommets et leurs relations sont dupliquées, comme dans la seconde figure ci-dessous. Ces deux représentations retranscrivent le même graphe dynamique sans perte d'information. Les problèmes de graphes issus de la recherche opérationnelle peuvent être étendus aux graphes dynamiques et ces dernières années, de plus en plus de travaux s'intéressent à ces problèmes (Vernet, 2020).

Les chemins dans les graphes et les flots, qui sont des problèmes largement étudiés dans les graphes, s'étendent aisément aux graphes dynamiques (Bui-Xuan et al., 2003) et permettent la représentation de déplacements dans l'espace géographiques.

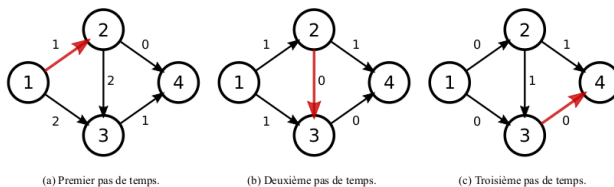


Figure 2.8 : Exemple de trajet dans un graphe dynamique avec temps de traversée sur les arêtes et pauses autorisées sur les nœuds. Les nombres à côté des arêtes correspondent au temps de traversée de l'arête. Le trajet du nœud 1 au nœud 4 est en rouge et court sur plusieurs pas de temps.

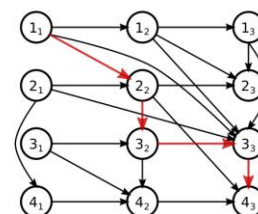


Figure 2.13 : Illustration du graphe développé correspondant au graphe dynamique de la figure 2.8. Le même chemin est aussi coloré en rouge.

Figure 2. Deux modes de représentation des graphes dynamiques (Vernet)

Les objectifs du projet GeoDyn se déclinent comme suit :

- comparer les méthodes de représentation de la Time Geography et de la théorie des graphes pour décrire et analyser les processus spatio-temporels
- chercher à les combiner pour conserver le meilleur de leurs qualités respectives, voire inventer une version dérivée de ces modes de représentation qui s'en inspire fondamentalement
- évaluer leur capacité respective à conserver leurs propriétés d'analyse et de modélisation face à la montée en charge due aux données massives et complexes de mobilité, à l'aide de données simulées à partir de modèles gravitaires (Josselin et al., 2020), sur des services de transport virtuel d'autocopartage (Garcin & Josselin, 2021) ou de données issues d'enquêtes ménages.

## 2. Problématique, questionnement scientifique, axe(s) de la FR concerné(s)

Dans un contexte de données massives de déplacements individuels, qui plus est de plus en plus complexes (écrêtement des pics de mobilité, variabilité et étalement des types d'activités dans la semaine, modes de travailler davantage hétérogènes, multiplication des modes de transports, doux, actifs et partagés...), la compréhension et l'analyse des flux multidirectionnels et multimodaux de personnes dans l'espace géographique restent des enjeux majeurs d'analyse spatiale. Leur représentation spatio-temporelle est un premier levier pour les appréhender et modéliser les processus qui les concernent.

Après avoir rappelé les concepts et les domaines d'usage des deux modes de représentation et de modélisation graphiques que sont les cubes spatio-temporels de la Time Geography et les graphes dynamiques, le projet s'attellera à comparer leurs apports et leurs limites respectives, dans un contexte de montée en charge de la complexité et de la quantité de flux géographiques de (groupes de ) personnes. Cette complexification est due d'une part, à la multiplication des modes de transport et des pratiques de déplacement urbains et d'autre part, à l'avènement des outils d'échange d'informations numériques avec les nouveaux opérateurs de services de transports (Mobility As A Service) et les autres usagers mobiles via les réseaux sociaux. Cette nouvelle donne numérique favorise éminemment le rapprochement vers les trois piliers de la mobilité que sont l'ubiquité (aller partout), l'immédiateté (à tout moment) et l'instantanéité (le plus vite possible) (Dupuy, 2009).

À travers les flux de personnes suivis et modélisés numériquement dans des Systèmes d'Information Géographiques généralistes ou dédiés (<https://geotime.com/>), on voit bien le lien avec la « société numérique » de la FR [Agor@ntic](#). Le projet GeoDyn s'inscrit plus particulièrement dans l'axe 1 (Méthodologies et interdisciplinarité) de la FR.

## 3. Méthodologie

Le projet GeoDyn adoptera une démarche méthodologique progressive :

- acculturation croisée des partenaires (géographie/informatique) sur la Time Geography et les graphes dynamiques
- études de travaux applicatifs ayant eu recours aux deux approches
- analyse fine et critique des fondements et des propriétés des deux approches
- détermination des points communs et des apports réciproques
- recherche d'une combinaison des deux approches en vue de la création d'un nouveau mode de représentations
- une montée en charge progressive de la quantité de flux traités, engendrant une complexité croissante, sera appliquée afin d'analyser la sensibilité et la résistance des deux modes de représentation et du nouveau mode créé
- application sur des données simulées de flux théoriques issues d'un modèle gravitaire dans le cadre d'un nouveau système de transport (l'autocopartage)
- application sur des données observées, agrégées, comme les migrations alternantes domicile-

travail/études intercommunales (<https://www.insee.fr/fr/information/2383370>), ou individuelles anonymisées, issues d'enquêtes ménages (BD ADISP Progedo : [http://www.progedo-adisp.fr/serie\\_emd.php](http://www.progedo-adisp.fr/serie_emd.php))

#### 4. Résultats attendus et caractère innovant de la recherche

Le projet GeoDyn vise à faire converger deux approches méthodologiques différentes ayant un but commun de représentation spatio-temporelle vers un outil pouvant servir à la fois :

- en analyse spatiale, par simplification des flux et intégration des patrons spatio-temporels de déplacement (par exemple, comment agréger les flux tout en conservant une trace des compositions des groupes se déplaçant ?)
- en recherche opérationnelle, par la capacité de la structure graphique utilisée à favoriser l'optimisation de fonctions spatiales (par exemple, optimisation de services de mobilités, observations de trajectoires et bifurcations dans des systèmes dynamiques, estimation de propriétés de résilience des réseaux...)
- à croiser différentes informations selon les types de graphes manipulées : graphes des réseaux viaires (géographique), graphes des réseaux et des groupes sociaux (virtuel), voire graphes abstraits (où les nœuds sont des agrégats de sémantiques variées).

L'innovation consiste en la comparaison interdisciplinaire des approches et également en leur mise à l'épreuve face à la montée en charge des données massives.

Du point de vue académique, les partenaires ont pour objectif (au moins) une publication cosignée dans une revue indexée. Les apports sont potentiellement importants dans les deux disciplines, par la « revisite » des graphes dynamiques et des cubes spatio-temporels pouvant produire des résultats valorisants.

#### 5. Dimension interdisciplinaire (champs disciplinaires associés) et cohérence par rapport à la thématique « Culture, Patrimoines, Sociétés Numériques »

Autour des sociétés numériques et du traitement des informations spatiales et réticulaires, la dimension interdisciplinaire du projet permet d'intégrer des personnes de deux disciplines :

- la géographie (géographie : méthodologie et théorie) : Didier Josselin (UMR ESPACE), Sonia Chardonnel (UMR PACTE de Grenoble) et Louissette Garcin (commençant une thèse à ESPACE), ainsi qu'un.e stagiaire de Master de Géographie
- l'informatique (théorie des graphes et recherche opérationnelle) : Mathilde Vernet (LIA) ainsi qu'un.e stagiaire de Master d'Informatique

#### 6. Partenariats extérieurs envisagés

Les collègues d'ESPACE et du LIA s'adjoindront l'expertise de la spécialiste française de la Time Geography, Sonia Chardonnel, du laboratoire PACTE (Grenoble, <https://www.pacte-grenoble.fr/membres/sonia-chardonnel>). Ce projet alimentera également les réflexions du groupe « Mobilité » du GdR MAGIS du CNRS (reconduit en janvier 2022, dans lequel Didier Josselin et Sonia Chardonnel sont impliqués : <http://gdr-magis.imag.fr/>)

## 7. Bibliographie

- BuiXuan, B.M., A. Ferreira, et A. Jarry (2003). Computing shortest, fastest, and foremost journeys in dynamic networks. *International Journal of Foundations of Computer Science*. 14(02), 267–285
- Chardonnel, S. (2021), *Chroniques quotidiennes des mobilités individuelles et des territoires*. Habilitation à Diriger des recherches.
- Dupuy G., (2009). Dupuy, *L'urbanisme des réseaux, théories et méthodes*. U-Geographie. Armand Colin.
- Garcin, L. & Josselin, D. , L'autocopartage, un nouveau mode de transport innovant et hybride. Conférence ASRDLF, 2021, Avignon
- Hägerstrand, T. (1967) *Innovation diffusion as a spatial process*. Chicago: University of Chicago Press.
- Holme, P. (2015). Modern temporal network theory : a colloquium. *The European Physical Journal B* 88(9), 234
- Josselin, D. et al., (2020), Estimer des flux de navetteurs avec un modèle gravitaire. Application géomatique en Région Provence-Alpes-Côte d'Azur (France), *Geomatica*. DOI : [10.1139/geomat-2020-0009](https://doi.org/10.1139/geomat-2020-0009)
- Vernet M. (2020). *Modèles et algorithmes pour les graphes dynamiques*. Manuscrit de thèse, Normandie Université

Librairies : Spacetime (R), GraphStream (Java), igraph (R)

Logiciel GeoTime : <https://uncharted.software/product/geotime/>

Budget (€)*		
	Brève description	Montant (€)
Missions	Conférences, réunions Grenoble-Avignon	1500
Consommables / Documentation	Bibliographie	500
Organisation de réunions	Séminaire co-organisé avec le groupe Mobilité du GdR MAGIS dans l'axe 1 Interdisciplinarité et méthodes de la FR AGorantic	2000
Stages** 2 x 4 mois = 8 mois	1 stage en informatique (application des graphes dynamiques aux données spatio-temporelles de flux) + 1 stage en géographie (application de la Time Geography aux données spatio-temporelles de flux)	4800
Budget total		8800
Cofinancements le cas échéant	Reliquat projet Autocopartage (AU) Apport GdR MAGIS (CNRS)	2000 1000
Budget demandé à Agorantic		5800 €

Nouveau projet Agorantic (non financé précédemment)