



HAL
open science

Systemes complexes, intelligence territoriale et mobilité - XTerM 2019

Patricia Sajous, Cyrille Bertelle

► **To cite this version:**

Patricia Sajous, Cyrille Bertelle (Dir.). Systemes complexes, intelligence territoriale et mobilité - XTerM 2019. 2019. hal-02117118

HAL Id: hal-02117118

<https://hal.science/hal-02117118>

Submitted on 23 Feb 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

XTerM 2019

Conférence internationale
"Systèmes Complexes,
Intelligence Territoriale
et Mobilité"

26-28 juin 2019

Université Le Havre Normandie
France

Sous la direction de
Patricia Sajous
Cyrille Bertelle

Ce colloque bénéficie d'un financement sur le projet XTerm (systèmes complexes, intelligence Territoriale et Mobilité) soutenu par les fonds européens FEDER et les fonds CPER de la Région Normandie. Ce projet a donné lieu à un consortium interdisciplinaire de chercheurs et ingénieurs (Géographie, Aménagement, Mathématiques, Informatique, Gestion, Droit, STAPS, Automatique, Electronique) issus de nombreux établissements d'enseignement supérieur et de recherche normands.

Les organisateurs remercient pour leur soutien financier et scientifique :

- Les fonds européens de développement régionaux FEDER et les fonds CPER de la Région Normandie
- La Région Normandie
- Le Havre Seine Métropole
- L'Université Le Havre Normandie
- L'Université Rouen Normandie
- L'INSA Rouen Normandie
- La ComUE Normandie Université
- L'Institut du Droit International du Transport
- Neoma Business School
- L'Esigelec
- Le CESI
- Le pôle de compétitivité Nov@log
- Les laboratoires de recherche : CETAPS, CUREJ, GREAH, IDEES, IRSEEM, LINEACT, LITIS, LMAH, LMI, LMN, LMRS, MOBIS
- L'ISCN, Institut des Systèmes Complexes en Normandie

Coordination :

- **Patricia SAJOUS**
UMR IDEES, Université Le Havre Normandie
25 Rue Ph. Lebon, BP 1123
76063 Le Havre, France
email : patricia.sajous@univ-lehavre.fr
- **Cyrille BERTELLE**
LITIS, Université Le Havre Normandie
25 Rue Ph. Lebon, BP 1123
76063 Le Havre, France
email : cyrille.bertelle@univ-lehavre.fr

Comité d'organisation :

- AZIZ-ALAOUI M.A., Université Le Havre Normandie
- BAILLY-HASCOËT V., Institut de Droit International du Transport
- BAUDRY D., CESI Région Nord Ouest
- BERTELLE C., Université Le Havre Normandie
- BRETHER J.-F., Université Le Havre Normandie
- CAPUTO J.-G., INSA Rouen Normandie
- CHOCHOLACEK E., Université Le Havre Normandie
- CORSON N., Université Le Havre Normandie
- COUTURIER L., Institut de Droit International du Transport
- ELISSALDE B., Université Rouen Normandie
- ELHAMI A., INSA Rouen Normandie
- HAVARD S., Université Le Havre Normandie
- ITMI M., INSA Rouen Normandie
- KNIPPEL A., INSA Rouen Normandie
- LOUIS A., CESI Région Nord Ouest
- LUCCHINI F., Université Rouen Normandie
- PERGAMENCHTCHIKOV S., Université Rouen Normandie
- SAJOUS P., Université Le Havre Normandie
- SEIFERT L., Université Rouen Normandie
- TAKOULO A., Université Le Havre Normandie
- VERNY J., Neoma Business School

Comité scientifique :

- ADE D., Maître de Conférences HDR, Université Rouen Normandie
- AZIZ-ALAOUI M.A., Professeur, Université Le Havre Normandie
- ANTONI J.P., Professeur, Université de Bourgogne Franche-Comté
- BALEV S., Maître de Conférences, Université Le Havre Normandie
- BANOS A., Directeur de Recherche CNRS, Université Le Havre Normandie
- BAUDRY David, Maître de Conférences, Région Nord Ouest
- BERTELLE C., Professeur, Université Le Havre Normandie
- CAPUTO Jean-Guy, Maître de Conférences HDR, INSA Rouen Normandie
- CHARRIER R., Maître de Conférences, Université Le Havre Normandie
- CHEN G., Professeur, City University of Hong-Kong, Chine
- CORSON N., Maître de Conférences, Université Le Havre Normandie
- DAHANE M., Maître de Conférences HDR, Université de Lorraine
- DAUPHINE A., Professeur, Université de Nice
- ELISSALDE B., Professeur, Université Rouen Normandie
- GALLEZ C., Directrice de Recherche CNRS, IFSTTAR
- IODICE P.P., Maître de Conférences, Université Rouen Normandie
- ITMI M., Maître de Conférences HDR, INSA Rouen Normandie
- KNIPPEL A., Maître de Conférences, INSA Rouen Normandie
- LECOQUIERRE B., Professeur, Université Le Havre Normandie
- LOUCA J., Professeur, University Institute of Lisbon
- LUCCHINI F., Maître de Conférences HDR, Université Rouen Normandie
- NAIT SIDI MOH A., Maître de Conférences HDR, Université de Picardie Jules Verne
- PERGAMENCHTCHIKOV S., Professeur, Université Rouen Normandie
- SAJOUS P., Maître de Conférences, Université Rouen Normandie
- SEIFERT L., Professeur, Université Rouen Normandie
- THEVENIN T., Professeur, Université de Bourgogne
- THOUVARECQ R., Professeur Université Rouen Normandie
- VARENNE F., Maître de Conférences HDR, Université Rouen Normandie

Préface

"L'intelligence territoriale" est un concept visant à améliorer la compréhension des territoires et la gestion des multiples interactions qui s'y produisent. La complexité de ces systèmes d'interactions, à l'échelle des individus, des organisations ou à celle des infrastructures, conduit aujourd'hui à repenser les analyses, les diagnostics et les services aux citoyens et aux opérationnels.

Chercheurs et praticiens sont invités à mieux prendre en compte la complexité des systèmes au sein du développement territorial. Ces systèmes territoriaux sont basés sur des réseaux d'interactions qui sont de natures différentes, d'échelles variables (au niveau des individus comme des organisations). Les nouvelles technologies, les nouveaux dispositifs de communications, l'économie mondialisée, les enjeux de durabilité ne font qu'accroître le niveau de complexité de ces systèmes territoriaux.

Pour parvenir à comprendre et à maîtriser cette complexité, trois champs d'analyse s'ouvrent à l'interface entre modélisation et gouvernance des territoires :

1. l'épistémologie de la complexité des systèmes : il s'agit d'interroger les notions et concepts permettant d'identifier cette complexité des systèmes ;
2. l'enrichissement des bases de connaissances des différents systèmes caractérisant les territoires sous l'angle de la complexité ;
3. l'élaboration de modèles et simulations formalisant les réseaux complexes des territoires : réseaux routiers, réseaux énergétiques, réseaux sociaux, réseaux logistiques, etc.

Cette conférence vise à réunir la communauté de chercheurs et de praticiens, quelle que soit leur discipline, s'intéressant à l'intelligence territoriale et aux enjeux autour de la relation entre complexité, territoire, prospective et aide à la décision.

Dans cette perspective, nous proposons d'aborder plus particulièrement les axes thématiques suivants :

A – Réseaux complexes

On s'intéresse dans cette thématique à la modélisation mathématique et informatique des systèmes complexes, notamment en termes de réseaux d'interactions. Il s'agit d'étudier les différentes formes et les modèles stochastiques qui caractérisent la complexité de ces réseaux. On s'intéressera notamment à l'impact de ces topologies sur la dynamique des systèmes portés par ces réseaux. On

s'intéressera aussi à développer des méthodes statistiques pour étudier la dynamique des systèmes complexes stochastiques qui fonctionnent dans l'environnement incertain. Les différents réseaux caractéristiques des territoires, traités de manière spatio-temporelle, sont des cas pratiques où l'analyse des boucles systémiques entre topologie et dynamique apporte des éléments de compréhension ou d'aide à la décision pour proposer des contrôles de certaines évolutions de phénomènes : épidémiologie, résilience des territoires, développement des smart cities, etc.

B – Espaces d'actions encouragées

On s'intéresse à la mobilité d'un individu et d'un agrégat d'individus, ou encore aux interactions d'un individu et d'un agrégat d'individus avec leur environnement, à travers l'étude des processus d'émergence et d'auto-organisation qui sous-tendent leur dynamique. On pourra notamment s'attacher à montrer la nature temporaire de ces interactions et en particulier l'aspect non-linéaire de leur dynamique ; c'est-à-dire que la mobilité d'un individu et d'un agrégat d'individus présente une relative sensibilité aux conditions initiales pouvant amener à une réorganisation macroscopique des interactions avec l'environnement.

C - Déplacements et complexité

L'axe thématique sur les déplacements et la complexité s'inscrit dans une approche scientifique qui interroge la capacité des soft data et des données massives issues des objets connectés à constituer une ressource nouvelle pour la compréhension des rythmes urbains et des mobilités dans les territoires. Les résultats des travaux sur ces nouvelles mobilités visibles au travers des objets connectés montrent que les usagers n'investissent pas de manière ubiquiste l'espace urbain, et associent des formes de hotspots à des lieux à fréquentation sporadique, des axes de déplacements préférentiels à d'autres axes de déplacements plus temporaires. L'observation des résultats révèle généralement une grande variabilité et une complexité des mobilités des usagers dans les espaces urbains et les territoires.

D - Territoires et mobilité durables

Pour améliorer la durabilité des mobilités sur leur territoire, les décideurs publics ont besoin d'outils permettant de connaître l'occupation et l'utilisation de ce territoire (caractéristiques des populations, voies et modes de déplacement, trajets quotidiens, etc.) et d'appréhender l'impact des dispositifs qui sont à leur disposition (impact sur les modes de déplacements, les trajets, les émissions, etc.). La modélisation du territoire, de ses acteurs, et des incidences de tel ou tel dispositif, peut-elle constituer un outil intéressant à cet égard ? Un certain nombre de collectivités se sont déjà dotées de tels outils de prospective, et d'autres manifestent un intérêt pour pouvoir le faire dans un futur plus ou moins proche. On peut discuter des pistes existantes et des moyens qui sont mis en œuvre pour réaliser cette modélisation (collecte de données via nouvelles enquêtes, utilisation de big data, développement de nouveaux modèles, couplage de modèles, renouvellement des approches existantes), mais aussi de la question des indicateurs et des possibles effets sociaux de la réduction du concept de durabilité à ses dimensions environnementales et économiques. N'y a-t-il pas un besoin de diversification des indicateurs qui soient plus sensibles au volet "social" (santé, exclusion, risque de stigmatisation de certaines catégories de population) ?

E - Territoires économiques et industriels

L'analyse des enjeux et des transformations des filières industrielles ou logistiques permettent d'observer des évolutions importantes liées à la flexibilité ou à la reconfigurabilité des systèmes. Cela se traduit également par une digitalisation des processus et des transformations des organisations et des modes de pilotage de ces systèmes allant de l'outil de production à la chaîne logistique. Outre les changements organisationnels et les évolutions des modes de management, ces évolutions s'appuient sur le développement de l'informatique et des technologies de l'information et de la communication

(internet des objets, machines connectées, big data, logiciels de supervision, intelligence artificielle, etc.), associées à l'essor de la robotique (robotique mobile, robotique collaborative, etc.) et sur la modélisation, la simulation et l'optimisation de ces systèmes complexes. Ces technologies et les travaux scientifiques associés, ouvrent de nouveaux champs d'applications dans l'inspection ou la surveillance d'équipements et de sites industriels. Ils amènent à repenser les outils industriels et les modes d'organisation associés. Ils poussent à s'intéresser aux processus supply chain, aux processus d'entreprises étendues ou de filières, tout en intégrant les dimensions humaines et économiques.

Le Havre
15 mai 2019

Patricia Sajous et Cyrille Bertelle
pour le consortium de chercheurs du projet XTerM

Table des matières

Préface	vii
Table des matières	xi
1 Keynote Speakers	1
Marc BARTHELEMY, CEA Saclay et EHESS	
Gabriel DUPUY, Paris 1 Panthéon-Sorbonne	
Pierre FRANKHAUSER, Université de Franche-Comté	
Guy MELANCON, Université de Bordeaux	
Denise PUMAIN, CNRS Géographie-cités	
Erik RIETVELD, University of Amsterdam	
Alexander TARTAKOVSKY, Moscow Institute of Physics and Technology	3
2 Réseaux Complexes	7
Mathematical and geographical approach in the modeling of a network of human behavioral systems	
V. LANZA, R. CHARRIER, N. VERDIÈRE, E. DUBOS-PAILLARD, O. NAVARRO, D. PROVITOLO, C. BERTELLE, G. CANTIN et M.A. AZIZ-ALAOUI	9
Study of a model of nervousness propagation within crowds	
R. CHARRIER, J. PHILIPPE et C. BERTELLE	13
Signal estimation in telecommunication and navigation stochastic systems based on discrete data	
V.S. BARBU, S. BELTAEF et S. PERGAMENSHCHIKOV	17
Source detection in a fluid network	
J.-G. CAPUTO, A. HAMDI et A. KNIPPEL	19
On graph laplacian eigenvectors with a zero component	
J.-G. CAPUTO, I. KHAMES et A. KNIPPEL	21
Radial analysis and scaling of urban land use	
R. LEMOY et G. CARUSO	23
Modélisation d'une structure spatiale dans le cadre d'un TOD : application à l'aire urbaine d'Orléans	
M. TANGUY et F. GUÉRIT	25

	Periodic solutions of nonlinear network wave equations	
	J.-G. CAPUTO, I. KHAMES et A. KNIPPEL	27
3	Espaces d'actions encouragées	29
	Field of promoted actions and affordances : toward non-linear pedagogy	
	L. SEIFERT	31
	Investigating individual pathways of learning : modelling the dynamics of learning with drifting Markov model	
	J. KOMAR, N. VERGNE et L. SEIFERT	33
	Designing field of promoted actions for motor learning : the use of visual feedback in postural regulation on a mechanical horse	
	H. BAILLET, N. ROCHAT, J. BOULANGER, N. BENGUIGUI, D. LEROY, L. SEIFERT, D. HAUW et R. THOUVARECQ	35
	La forêt, un stade comme un autre ? Appropriations des forêts de la Métropole Rouen Normandie par les coureurs	
	R. LEPILLÉ, B. EVRARD, M. BUSSI et D. FÉMÉNIAS	37
	Recommandation de parcours de visiteurs dans les sites historiques basée sur le Q-learning	
	M. MESSAADIA, M. SAHNOUN et M.A. BENATIA	39
	Transfer of route-finding skill in climbing : why are constant learning conditions insufficient ?	
	G. HACQUES, J. KOMAR et L. SEIFERT	41
	How tool appropriation is shaped by the environment : a study about instrumented activity in trail running	
	N. ROCHAT, L. SEIFERT, B. GUIGNARD et D. HAUW	43
	Inter-cyclic movement variability of complex systems : an investigation in human swimming	
	B. GUIGNARD et L. SEIFERT	45
4	Déplacements et complexité	47
	Deux méthodologies pour analyser les mobilités à partir des données de téléphonie mobile	
	F. LUCCHINI, O. GILLET, B. ELISSALDE, L. GRASSOT, J. BAUDRY et A. COUILLET	49
	From individual spatio-temporal trajectories to spatial networks	
	M. LENORMAND	53
	Appréhender le covoiturage à travers l'analyse des trajets de la plateforme BLABLACAR : l'exemple de la métropole Rennaise	
	B. MERICKSKAY	55
5	Territoires et mobilités durables	59
	ECOMOB-MULTIMOD (EM3) : un modèle à base d'agents pour explorer les effets de nouveaux dispositifs réglementaires sur la qualité de l'air et la mobilité quotidienne	
	P. SALZE, V. BAILLY-HASCOËT, S. BALEV, C. BERTELLE, N. CORSON, L. COUTURIER, T. LANGLOIS et P. SAJOUS	61
	Jouer la mobilité urbaine ? Retour d'expérience sur un modèle et un jeu de fabrique d'un territoire sans voiture	
	A. BANOS et J. DEBRIE	63

Identifying planning and governance actions in regional mobility (TANGRAM) : a tool for sharing thinking	
S. LANDINI et S. OCCELLI	67
Les dispositifs réglementaires en faveur de l'écomobilité, dans une perspective de modélisation territoriale	
V. BAILLY-HASCOËT	69
Le système d'électromobilité norvégien : un modèle pour la France ? Entre pertinence des indicateurs et limites de la comparaison internationale	
E. CASTEX, J. FROTEY et P. DEBOUDT	73
Optimisation d'un réseau de recharge de véhicules électriques, application au centre-ville de Compiègne	
N. MOLINES, G. RICHARD, M. SECHILARIU, H. MARTEL-FLORES, F. LOCMENT et J. BAERT	75
La modélisation des pratiques de rabattement sur les gares ferroviaires	
S. HASIAK et N. JUSTE	79
Herders mobility GPS tracking : insights from novel trajectory data	
K. KRAEHNERT, M. VIGH, C. KNOTH, H. TEICKNER, M. PUREVTSEREN, M. SUGAR et E. PEBESMA	83
6 Territoires économiques et industriels	85
Smart grid and industry 4.0 interaction as a non-cooperative game	
B. BRIK, D. BAUDRY et A. LOUIS	87
L'intégration de la logistique dans les domaines d'aménagement du territoire	
E. SASSI, A. BENABDELHAFID et S. HAMMAMI	89
Optimisation de la taille de flotte de robots dans un atelier flexible : approche par simulation	
M. SAHNOUN, Y. XU, B. BETTAYEB, D. BAUDRY et F. BEN-ABDELAZIZ	91
Un processus décisionnel basé sur la localisation de ressources pour la plani- fication dynamique des tâches	
M. SAHNOUN, B. BETTAYEB, M.A. BENATIA et B. BRIK	93
False maintenance alarm-sequence detection using frequent pattern mining	
M.A. BENATIA, D. BAUDRY et A. LOUIS	95
Index	99

Keynote Speakers

Marc BARTHELEMY, CEA Saclay et EHESS



actuellement sur divers aspects de la science émergente des villes.

Marc Barthelemy, ancien élève de l'École Normale Supérieure, Docteur en physique théorique, est chercheur au Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA) depuis 1992 et membre associé au CAMS, École des Hautes Études en Sciences Sociales (EHESS) depuis 2008. Il a travaillé sur des applications de la physique statistique aux réseaux complexes, à l'épidémiologie et plus récemment sur les réseaux spatiaux. Il est coauteur, avec Alain Barrat et Alessandro Vespignani, du livre « Dynamical processes on complex networks » (2008). En se concentrant à la fois sur l'analyse des données et la modélisation, il travaille

Gabriel DUPUY, Paris 1 Panthéon-Sorbonne

Gabriel Dupuy est Ingénieur de l'École Centrale de Paris, Docteur en Mathématiques (Paris VI) et Docteur d'État en Sciences Humaines (Paris V). Après avoir pratiqué l'aménagement urbain en bureau d'études (Groupe de Caisse des Dépôts), il a rejoint l'Université pour diriger l'Institut d'Urbanisme de Paris (Université de Paris XII). Il a été ensuite Directeur des Études à l'École Nationale des Ponts et Chaussées, puis Directeur du Programme Interdisciplinaires de Recherche sur les Villes (CNRS) en même temps que Professeur à l'université Paris X – Nanterre. En 2001, il rejoint l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne où il dirige le Centre de Recherche sur l'Industrie et l'Aménagement (CRIA), rattaché à l'UMR Géographie-cités (2002-2011). Il est nommé professeur émérite en 2011. Auteur de très nombreux ouvrages, ses thèmes de recherche concernent les rapports entre l'espace et l'aménagement d'une part, les technologies de transport et de communication d'autre part : jeux urbains, urbanisme des réseaux, dépendance automobile, fracture numérique, « enfer » des réseaux, interdisciplinarité naïve.



Pierre FRANKHAUSER, Université de Franche-Comté



Pierre Frankhauser est professeur de Géographie à l'Université de Franche-Comté depuis 1996. Il est investi dans l'analyse de l'organisation spatiale des tissus urbains et des réseaux de transport à travers une lecture transversale aux échelles, basée sur une approche fractale. Il a développé divers outils informatiques d'analyse avec des chercheurs et ingénieurs du laboratoire THEMA dont il a été le directeur de 1997 à 1999. Il travaille également sur la mise en place de concepts d'aménagement, s'inspirant de la géométrie fractale, pour le développement durable à l'échelle des agglomérations. Ces travaux tentent de trouver des configurations urbaines optimisant l'accessibilité aux lieux fréquentés par les résidents dans le but de limiter la longueur des déplacements. Dans ce contexte l'objectif est de concevoir des outils informatiques

permettant de rendre opérationnel cette approche à travers la simulation des scénarios de développement. Un autre domaine de recherche concerne le développement d'une lecture interdisciplinaire des processus de décisions qui interviennent lors du choix résidentiel à travers d'enquêtes et de réflexions théoriques sur la modélisation de ces processus.

Guy MELANCON, Université de Bordeaux

Guy Melançon est professeur d'informatique, vice-président numérique de l'université de Bordeaux. Il est membre de l'équipe Équipe LaBRI (Bench to Knowledge and Beyond) et de l'équipe projet INRIA-LaBRI : GRAVITE. Ses thèmes de recherche sont très proches des courants actuels du secteur de l'édition logicielle qui mise sur la visualisation comme interface d'accès, d'analyse et de suivi de l'information dans de nombreux domaines. Il se concentre en particulier sur le calcul de vues abstraites de grands ensembles de données, en cherchant à calculer un découpage des graphes qui soit cohérent avec la structure donnée au départ et qui se plie aux contraintes de l'interaction (visualisation). Des résultats probants ont été notamment obtenus pour le traitement des données étudiées par la communauté de recherche en géographie quantitative (projet ANR SPANGEO). De la même manière, des résultats ont été développés, tant sur l'analyse des réseaux que sur les représentations adaptées à l'activité de veille stratégique sur le web (projet ANR RNTL FIVE).



Denise PUMAIN, CNRS Géographie-cités

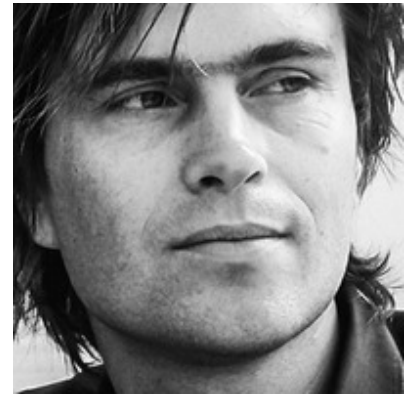


Denise Pumain, ancienne élève de l'École Normale Supérieure, est spécialiste de l'urbanisation et de la modélisation en sciences sociales. Titulaire d'un doctorat de l'université Panthéon-Sorbonne, elle a été membre de l'Institut universitaire de France et est professeure émérite de l'Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne. Chercheuse au laboratoire Géographie-cités dont elle est la co-fondatrice, elle a produit des travaux innovants sur les dynamiques urbaines. Tout en creusant un sillon scientifique original, qui a notamment débouché sur le développement d'une théorie évolutive des villes, elle s'est intéressée à d'autres champs disciplinaires et a contribué à la construction des sciences de la complexité. Elle est également fondatrice de la revue *Cybergeo* : revue européenne de géographie, en accès ouvert et a codirigé la revue *L'Espace géographique*. La diffusion

de la production scientifique lui tient à cœur. Elle a obtenu de nombreuses distinctions dont le Prix Vautrin Lud en 2010, Prix de la femme de l'innovation en 2014. Elle a été promue officier de la légion d'honneur en 2014.

Erik RIETVELD, University of Amsterdam

Erik Rietveld est professeur de philosophie Socrates à l'université de Twente et à l'université d'Amsterdam. Auparavant, il était boursier en philosophie à l'Université de Harvard et chercheur invité à l'Institut de Neurosciences Helen Wills de l'Université de Berkeley. Avec son frère Ronald Rietveld, il a fondé le studio multidisciplinaire d'art visuel, d'architecture et de philosophie RAAAF [Rietveld Architecture-Art-Affordances]. Ils étaient responsables de Vacant NL, contribution néerlandaise à la Biennale d'architecture de Venise 2010, et ont fondé un programme de maîtrise du même nom à l'Institut Sandberg, Gerrit Rietveld Art Academy, Amsterdam. La RAAAF a été élue architecte néerlandais en 2013 et a reçu le Prix européen d'architecture (Philippe Rotthier) 2017. Ronald et Erik Rietveld sont membres de la Société des arts de l'Académie royale des arts et des sciences des Pays-Bas (KNAW). Erik Rietveld publie fréquemment dans des revues internationales renommées telles que Mind, Synthese, BBS, TiCS et Harvard Design Magazine. Ses travaux philosophiques sur les actions expertes, les affordances et l'architecture éactive ont été récompensés par une subvention Rubicon, VENI et VIDV de l'Organisation néerlandaise pour la recherche scientifique (NWO), et récemment par une subvention ERC Starting Grant par le Conseil européen de la recherche.



Alexander TARTAKOVSKY, Moscow Institute of Physics and Technology



Alexander Tartakovsky, docteur de l'Institut de Physique et de Technologie de Moscou (MIPT), est actuellement Président de AGT StatConsult de Los Angeles et Directeur du Space Informatics Laboratory du MIPT à Moscou, après avoir été Professeur en Statistiques à l'Université du Connecticut (USA) et directeur adjoint du département de mathématiques du centre de mathématiques appliquées de l'Université de Californie du Sud à Los Angeles. Ses domaines de recherche concernent la théorie des probabilités, les statistiques appliquées et principalement l'analyse séquentielle. Il travaille notamment sur les problèmes de décision multiple et séquentiel et sur des méthodes rapides de détection de changement de point. Ses recherches concernent une grande variété d'applications en analyse de signal et d'image, en cybersécurité pour tracer des activités malveillantes et les intrusions dans les réseaux informatiques mais aussi l'aide à la décision dans les systèmes stochastiques complexes. Il a reçu le Prix Abraham Wald en analyse séquentielle en 2007 et il est membre depuis 2012 du prestigieux Institut international de statistique mathématique.

Réseaux Complexes

MATHEMATICAL AND GEOGRAPHICAL APPROACH IN THE MODELING OF A NETWORK OF HUMAN BEHAVIORAL SYSTEMS

V. Lanza, R. Charrier, N. Verdière, E. Dubos-Paillard, O. Navarro, D. Provitolo, C. Bertelle, G. Cantin, M.A. Aziz-Alaoui *†‡§¶

Abstract. This paper proposes to generalize to a geographical context an innovative SIR-based model describing human collective behaviors in situations of disasters. The novelty of this paper is to base the SIR model on psychological analysis of the different human behaviours taking place and to model the influence of the space in the transitions among one behavior and the others. This network model will be applied on the specific case of a technological explosion of the city of Le Havre. The evolution of the different behaviors during such event could also be analyzed.

Keywords. Mathematical model, catastrophic event, network, human behaviors, differential equations

1 Introduction

Several works in the literature can be found about the crowd displacements during a catastrophic event [7]. However, in most models, only the dynamics and the dependence of crowd flow on the topology of the environment (presence of obstacles or bottleneck formation, for instance) are considered [9]. Rare are the works that take into account several human behaviors at the same time and also transitions among these reactions. To meet this challenge, a consortium grouping searchers of different disciplines (mathematicians, geographers, psychologists, computer scientist) has been formed in the framework of the ANR project Com2SiCa. A first work of this consortium proposed a fine analysis of human behaviors and their transitions according to the concerned brain

area [1, 10, 5].

The work presented in this paper is based on an innovative SIR-based model describing human collective behaviors in situation of natural (i.e. earthquake, tsunami) or technological disasters and based on psychological perspective. Indeed, according to geographers, neuroscientists and psychologists [3, 4], during a catastrophe, people scarcely stay in the same category of behavior during the all event. Furthermore, imitation or social comparison is an important factor in the processes of behaviors changes [6]. More often, the behavior of the majority influences the behavior of the minority.

Moreover, the role played by the spatial configuration and the constraints introduced by the hazard (cutting of roads, destruction of buildings etc.) is not negligible in the dynamics of human reactions. Therefore, the aim of this paper is to present a mathematical framework in order to have a spatial version of this model with a strong geographical meaning. In our approach, the space environment is modeled by a network that is adapted to the geographical area under study. The nodes represent a place with some properties and are filled with a group of individuals subject to the model behavior panel. The edges symbolize the axes of communication and possible interactions between nodes. Each term in the network model is justified with a geographical and psychological consideration. The main differences among our network model and the previous one [5] are the following: - we work with densities of population - the coupling coefficients can be calculated using a physical and geographical approach - for each node of the network we introduce a capacity constraint.

The paper is organized as follows. Section 2 presents the SIR model based on a psychological approach. Section 3 introduces the spatial dynamics into the model and describes the example of an industrial catastrophe of the city Le Havre.

*V. Lanza, N. Verdière, G. Cantin and M.A. Aziz-Alaoui are with LMAH, FR-CNRS-3335, Université Le Havre Normandie. E-mails: valentina.lanza@univ-lehavre.fr, nathalie.verdiere@univ-lehavre.fr, guillaumecantin@mail.com, aziz.alaoui@univ-lehavre.fr

†R. Charrier and C. Bertelle are with LITIS, Université Le Havre Normandie. E-mails: rodolphe.charrier@univ-lehavre.fr, cyrille.bertelle@univ-lehavre.fr

‡E. Dubos-Paillard is with Géographie-Cités UMR 8504, Université Paris 1, Panthéon-Sorbonne. E-mail: Edwige.Dubos-Paillard@univ-paris1.fr

§O. Navarro is with Laboratoire de Psychologie des Pays de la Loire, Université de Nantes. E-mail: Oscar.Navarrocarrascal@univ-nantes.fr

¶D. Provitolo is with Géoazur UMR 7329, CNRS, Univ. Nice Sophia Antipolis. E-mail: Damienne.provitolo@geoazur.unice.fr

2 Modeling the behavioral system

Our model is based on the the PCR model proposed in [1], but here a psychological approach rather than a cognitive one is considered. The model aims to describe the human collective behaviors in the specific scenario of a natural or technological catastrophe. In particular, three main behaviors are here considered. The first one is the reflex behaviors type and it corresponds to the set of instinctive and alert behaviors. The second one concerns panic behaviors type. From a psychological point of view, consideration and automate behaviors belong to this class as much as the panic behavior that leads to dangerous situations, such as pushing and running over people. The third behaviors type is the controlled one. Moreover, daily and back to daily behaviors are taken into account.

The scheme of the interactions among these behaviors can be found in Fig. 1. It is important to notice that the transition from a behavior to another can be a natural transition of the individual. They are noted B_i , $i = 1, \dots, 4$ and C_i , $i = 1, 2$ in Fig. 1. But these transitions can be also the result of a social comparison and imitation process. They are noted f , g and h in Fig. 1.

Moreover, with respect to the previous model [1, 2], victims and deaths are taken into account in order to obtain a more realistic model.

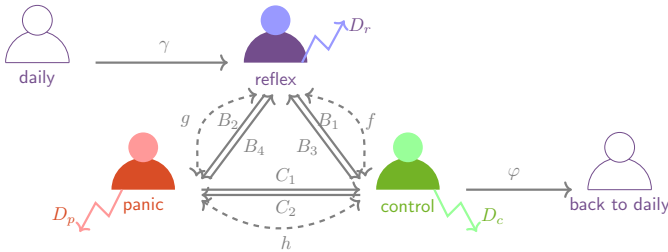


Figure 1: RCP model scheme

3 Geographical version on a network structure

The aim of this paper is to introduce the spatial dynamics into the model. Indeed, the temporal dynamics of the behaviors are also guided by the territory and the alternatives that it offers with regard to evacuation, escape, and accessibility to the zones of refuge. The space is therefore not a neutral substrate on which elements or mechanisms interact. During a disaster, human reactions will be constrained, led by a pre-structured space.

The model described previously deals with global contexts like cities or whole regions. The next step of our modeling process is to design the system at a mesoscopic scale, that is a coupled network composed of nodes holding a metapopulation system like the previous one and

edges linking close nodes. The underlying structure consists of a network of limited areas on a geographical map, which are viewed as the nodes of the network, and are characterized by limited capacities of populations. Two of such areas may be linked if there exists some geographical path between them, like a road, a place, a corridor, These links become the oriented edges of the network. Each link holds some properties, for example the proportion of the population in a behavior state which moves from one node/area to another. This proportion is modeled by a linear coupling coefficient in the global mathematical model. One of the main issue is therefore to quantify this linear coupling between two given nodes, that is between two spatial zones, according to the geographical configuration of these zones. Our study has led to a specific formulation for this coupling, which depends on some quantities when one considers some population going from one given zone to another:

- the velocity average of the population leaving the considered zone
- the width of the exit of the considered zone that population leaves
- the global surface of the considered spatial zone that population leaves

This consideration gives concrete and realistic values to the mathematical coupling within the network model. At the global level we have to study the response of the whole coupled system with some capacity constraints [8], and realistic coupling coefficients described previously.

We intend to apply the previous model on the specific case of the city of Le Havre, where an industrial risk is considered. The geographical analysis of the high-risk area in Le Havre has led to the design of a geographical zoning into a cell map, whose centers became nodes of the network. The map of the city enables then to identify paths of escape in case of industrial explosions, which became edges of our computational model. We make the assumption that an hazardous explosion occurs on the harbor area within the town or close to densely populated areas. Once initial conditions are fixed according to the density of population in the city, some simulations may be run on the previous scenario.

The objective here is to be able to predict the evolution of the proportion between the different classes of population described in figure 1, within each zone/cell of the map during a catastrophic event like the one we mentioned previously. We need also to visualize the data globally to detect how the panic wave can propagate through the town.

Although at present these simulations can not be confirmed or invalidated by real data, our model will be surely enriched with the results of a survey that will be conducted on May 2019 within the ANR project Com2SiCa.

Acknowledgements

This work has been supported by the French government, through the National Research Agency (ANR) under the Societal Challenge 9 “Freedom and security of Europe, its citizens and resident” with the reference number ANR-17-CE39-0008, and the UCA-JEDI Investments in the Future project managed by the National Research Agency (ANR) with the reference number ANR-15-IDEX-01.

References

- [1] D. Provitolo, E. Dubos-Paillard, N. Verdière, V. Lanza, R. Charrier, C. Bertelle, M. Aziz-Alaoui, “Les comportements humains en situation de catastrophe: de l’observation à la modélisation conceptuelle et mathématique,” *Cybergeo: European Journal of Geography*, vol. 735, 2015.
- [2] G. Cantin, N. Verdière, V. Lanza, M. Aziz-Alaoui, R. Charrier, C. Bertelle, D. Provitolo, E. Dubos-Paillard, “Mathematical modeling of human behaviors during catastrophic events: Stability and bifurcations,” *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 26(10), 1630025, 2016.
- [3] D. Provitolo, E. Dubos-Paillard, J. P. Müller, “Emergent human behaviour during a disaster: thematic versus complex systems approaches”, *EPNACS 2011 within European Conference of Complex System 2011*, Vienna (Austria), 2011.
- [4] L. Crocq, *Les paniques collectives*, Paris: Odile Jacob, 2013.
- [5] G. Cantin, “Nonidentical coupled networks with a geographical model for human behaviors during catastrophic events”, *International Journal of Bifurcation and Chaos*, vol. 27 (14), p. 1750213, 2017.
- [6] D.T. Gilbert, R.B. Giesler, K.A. Morris, “When comparisons arise”, *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 69, p. 227-236, 1995.
- [7] B. Maury, J. Venel, “A Mathematical Framework for a Crowd Motion Model“, *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. I*, vol. 346, p. 1245–1250, 2008.
- [8] S. C. Nicolis, J. Halloy, J.-L. Deneubourg: “Transition between segregation and aggregation: the role of environmental constraints,” *Scientific reports*, vol. 6, p. 32703, 2016.
- [9] M. Moussaïd, D. Helbing, G. Theraulaz, “How simple rules determine pedestrian behavior and crowd disasters”, *Proceedings of the National Academy of Science*, vol. 108 (17), p. 6884–6888, 2011.
- [10] N. Verdière, V. Lanza, R. Charrier, D. Provitolo, E. Dubos-Paillard, C. Bertelle, A. Alaoui, “Mathematical modeling of human behaviors during catastrophic events”, *Proceedings of ICCSA 2014*, Le Havre (France), 2014.

STUDY OF A MODEL OF NERVOUSNESS PROPAGATION WITHIN CROWDS

Rodolphe Charrier, Julien Philippe and Cyrille Bertelle *

Abstract. Crowd dynamics has attracted a lot of interest in the last decade, notably so as to understand and prevent emergency situations. In that field, computer simulations has a huge interest, due to the difficulty of making real life experiments. Nevertheless several models have been created, at a macroscopic level as well as at a microscopic level. But these models take rarely into account the emotional dimension. In this work, we start from an existing model, the Helbing's model, which already involves a nervousness component. This component was based on velocity distribution only, we propose to adapt this model to include a propagation mechanism. We study its impact on a classic simulation setup.

Keywords. Complex networks, crowd dynamics, emotional contagion, nervousity propagation

1 Introduction

In last decades, the field of crowd dynamics and crowd simulations has attracted a growing amount of interest due to the increase of population density in city areas and therefore the increase of risk situations. A densely crowd could be the danger itself, like in Mecca in 2015, where 2000 people died because of the emerging panic. The aim is to model the crowd dynamics so as to better understand the mechanisms involved and to prevent such critical situations from occurring.

Computer simulations are the main way to study and test the designed models of crowd, because getting data on crowd is something difficult, especially from panic situations. Existing models in literature are mainly based on particle systems or grain dynamics. But very few models include emotion influences on the crowd dynamics, and yet social psychology theories mention the importance of emotional contagion in crowd understanding, notably by means of empathy and mimicry processes [2, 1] in social groups. Numerous examples in nature show similar social and collective behaviors when a member of the group warns the others from a danger by its own behavior [6, 7].

The work described here proposes an extension of a well-known crowd model in the literature called the social force model of D. Helbing, with a nervousness property in the system. Our objective consists in designing a

mechanism for propagating this nervousness in the system, which is not in the original Helbing's model, and compare the efficiency of this mechanism on emergency situations. We show that this propagation improves the evacuation process.

After a short recall of the Helbing's model, we will describe our modelling modification and then present our simulation results.

2 The social force model of D. Helbing with nervosity

Dirk Helbing has developed a model inspired by particle systems in physics, more precisely auto-propelled particles. Each pedestrian is represented by a particle, with a radius, a mass, a desired speed and a set of successive destinations. This model is very interesting for two reasons : firstly, the Helbing's model is a well-known reference model, which initiated many researches in the crowd modeling field. Secondly, it includes already a nervosity factor which enables us to consider a nervosity propagation, that we can compare to the original model.

To summarize the Helbing's model, let us mention that each agent in the system is govern by a dynamics law, that determines its acceleration according to a sum of forces:

$$m_i \frac{d\mathbf{v}_i(t)}{dt} = \mathbf{g}_i(t) + \mathbf{f}_i^{soc}(t) + \mathbf{f}_i^{ph}(t) + \mathbf{f}_i^{obs}(t) \quad (1)$$

where m_i is the mass of the pedestrian/agent i , $\mathbf{f}_i^{soc}(t)$ is the social force (to avoid contact) other pedestrians apply to agent i , $\mathbf{f}_i^{ph}(t)$ is the contact force with other agents, and $\mathbf{f}_i^{obs}(t)$ is the repulsive force applied by non moving obstacles, like walls. The force $\mathbf{g}_i(t)$ represents the goal of the agent trying to reach his desired speed and to move towards his next destination. For further details on this model, we suggest to read Helbing's articles[3, 4].

To handle emergency situations and panic situations, Helbing has also defined a nervousness parameter as a single parameter which influences fluctuation strengths, desired speeds, and the tendency of herding. [5]

Actually, nervousness is essentially a parameter calculated from individual kinetics :

*Rodolphe Charrier, Julien Philippe and Cyrille Bertelle are at the LITIS laboratory, University of Le Havre Normandy, France. E-mail:rodolphe.charrier@univ-lehavre.fr

$$n_i(t) = 1 - \frac{\bar{v}_i(t)}{v_i^0(0)} \quad (2)$$

where $\bar{v}_i(t)$ is the average speed into the desired direction of motion and $v_i^0(0)$ the desired speed of the agent.

Nervousness quantifies the frustration of the agent when he can not go at his desired speed. In return, nervousness can modify the desired speed. When pedestrians are getting nervous they try to move faster :

$$v_i^0(t) = (1 - n_i(t)) v_i^0(0) + n_i(t) v_{max} \quad (3)$$

Nervousness in the Helbing's sense is not a social information that can propagate through the crowd. That is precisely what we propose to do in the next section.

3 Nervousness propagation

The nervousness propagation network is a graph $G = (V, E)$ where each vertex of V is an agent, and each oriented edge (i, j) of E connect an agent i to an agent j if j is in the vision cone of i (cf. 1). This is therefore a perception network controlled by the position and the looking direction of each agent at a given time, that is a dynamic graph.

At each time step the nervousness n_i of the agent i is now composed of two values : the individual nervousness n_i^g generated by the agent's kinetics (as described by Helbing), and the social nervousness from propagation n_i^s on the perception network. This composition is regulated by an interaction parameter $\epsilon \in [0, 1]$ which quantifies the influence of external informations :

$$n_i = (1 - \epsilon) n_i^g + \epsilon n_i^s \quad (4)$$

n_i^s is obtained by propagation through the perception network. Two ways of propagation have been tested :

- by maximum: extract the maximum value of the perceived nervousness from the neighbourhood N_i

$$n_i^s = \max(n_j; j \in N_i)$$

- by averaging the perceived nervousness

$$n_i^s = \frac{1}{N_i} \sum_{j \in N_i} n_j$$

In the following section, we show some outcomes of a set of simulations involving these basic propagation mechanisms.

4 Simulations and results

We intend to compare three main propagation of nervousness scenarios : without any propagation (i.e. original Helbing's model), with a propagation by maximum and

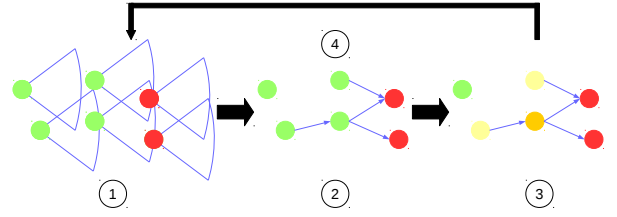


Figure 1: Illustration of the network creation based on agent's vision.

with a propagation by mean. A set of numerous simulations has been achieved based on a common spatial configuration (the parameter values are taken from the Helbing's model in [4]): pedestrians move from left to right in a long corridor with a bottleneck on its middle (cf. figure 2). The corridor is 60 meters long and 15 meters wide including a narrow part at 35 meter from the left. The narrow part is 1 meter wide, that is a critical size when we can observe a bottleneck is forming. One



Figure 2: Pedestrians in a corridor. Colors mean nervousity level from green to red (red means high nervosity)

simulation run is 300 seconds long, and agents appear on the left according to a stochastic Poisson process, whose coefficient is linked with the density of the crowd.

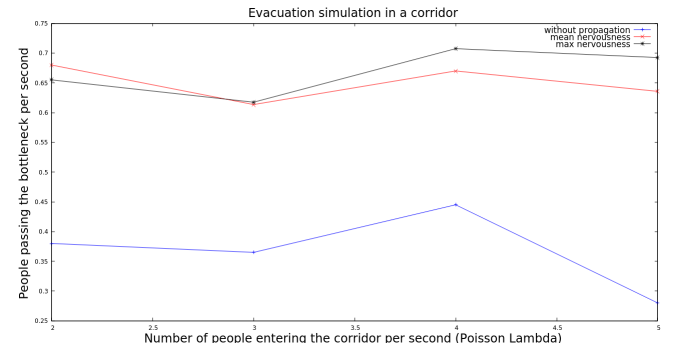


Figure 3: Efficiency of the evacuation process

The main results are shown on figure 3 where the chart shows the flow of pedestrians running across the narrow part of the corridor by second in function of the density of the crowd (related to the Poisson coefficient). We can state that the propagation of nervosity has a real impact on the fluidity of the crowd: it improves the evacuation process in cases where the interaction is strong enough (that is $\epsilon > 0.5$). Apparently the type of propagation mechanism does not matter for the evacuation efficiency, a propagation by maximum or by mean gives the same outcomes, whatever the density may be.

5 Conclusion

We have shown in this work that a propagation of high emotions like nervousness can modify the flow of agents in the Helbing's model. Nervousness propagation seems to improve the fluidity of the crowd. This effect may be considered as a paradox, but we may assume that the crowd reacts as soon as the information of nervousness arrives, that is much earlier when there is a propagation than when there is none. Emotional contagion seems therefore to be a reliable working hypothesis, even if we can not verify it in real situations at the moment.

Acknowledgements

This work is part of the XTerM project, co-financed by the European Union with the European regional development fund (ERDF) and by the Normandie Regional Council.

References

- [1] E. Hatfield, J. T. Cacioppo, R. L. Rapson, "Emotional Contagion", *Studies in emotion and social interaction*, Cambridge University Press, 1994.
- [2] P. Ekman, K. Scherer, "Studies in Emotion and Social Interaction", Cambridge University Press, 1982.
- [3] D. Helbing, P. Molnar, "Social force model for pedestrian dynamics", *Physical Review E*, vol. 51, pp.4282-4286, 1995.
- [4] D. Helbing, I. Farkas, T. Vicsek, "Simulating dynamical features of escape panic", *Nature*, vol. 407, pp.487-490, 2000.
- [5] D. Helbing, I. Farkas, P. Molnar, T. Vicsek, "Simulation of pedestrian crowds in normal and evacuation situations", *Pedestrian and evacuation dynamics*, vol. 21, pp 21-58, 2002, Springer, Berlin.
- [6] S.L. Lima, "On the personal benefits of anti-predatory vigilance", *Animal Behaviour*, vol. 48, pp 734-736, 1994, Elsevier.
- [7] O. Pays, G. Beauchamp, A. Carter, A.W. Goldizen, "Foraging in groups allows collective predator detection in a mammal species without alarm calls", *Behavioral Ecology*, vol. 24,5, pp 1229-1236, 2013, Oxford University Press UK.

SIGNAL ESTIMATION IN TELECOMMUNICATION AND NAVIGATION STOCHASTIC SYSTEMS BASED ON DISCRETE DATA

Vlad Stefan Barbu, Slim Beltaief and Serguei Pergamenshchikov ^{*†}

Abstract. In this article we consider the nonparametric robust estimation problem for regression models in continuous time with semi-Markov noises observed in discrete time moments. An adaptive model selection procedure is proposed. A sharp non-asymptotic oracle inequality for the robust risks is obtained. We obtain sufficient conditions on the frequency observations under which the robust efficiency is shown. It turns out that for the semi-Markov models the robust minimax convergence rate may be faster or slower than the classical one.

Keywords. Non-asymptotic estimation; Robust risk; Model selection; Sharp oracle inequality; Asymptotic efficiency.

1 Introduction

In this paper we consider the semi-Markov regression model in continuous time introduced in [1], i.e.

$$dy_t = S(t)dt + d\xi_t, \quad 0 \leq t \leq n, \quad (1)$$

where $S(\cdot)$ is an unknown 1-periodic function defined on \mathbb{R} with values on \mathbb{R} , $(\xi_t)_{t \geq 0}$ is the unobserved noise process defined through a certain semi-Markov process.

Our problem in the present paper is to estimate the unknown function S in the model (1) on the basis of observations

$$(y_{t_j})_{0 \leq j \leq np}, \quad t_j = j\Delta, \quad \Delta = \frac{1}{p}, \quad (2)$$

where the integer $p \geq 1$ is the observation frequency. Firstly, this problem was considered in the framework “signal+white noise” (see, for example, [3] or [4]). Later, to introduce a dependence in the continuous time regression model in [5], [6], the Ornstein-Uhlenbeck processes has been used to model the “color noise”. Moreover, in order to introduce the dependence and the jumps in

the regression model (1), the papers [7] and [8] use the non Gaussian Ornstein-Uhlenbeck processes defined in [9]. The problem in all these papers is that the introduced Ornstein-Uhlenbeck type of dependence decreases with a geometric rate. So, asymptotically when the duration of observations goes to infinity, we obtain the same “signal+white noise” model very quick. To keep the dependence for sufficiently large duration of observations, in [1] it was proposed the model (1) with a semi-Markov component in the jumps of the noise process $(\xi_t)_{t \geq 0}$. The main goal of this paper is to develop adaptive robust method from [1], that was based on continuous observations, to the estimation problem based on discrete observations given in (2).

2 Main conditions

We assume that the noise process $(\xi_t)_{t \geq 0}$ in the model (1) is defined as

$$\xi_t = \varrho_1 w_t + \varrho_2 L_t + \varrho_3 z_t,$$

where ϱ_1 , ϱ_2 and ϱ_3 are unknown coefficients, $(w_t)_{t \geq 0}$ is a standard Brownian motion, $(L_t)_{t \geq 0}$ is a jump Lévy process defined as

$$L_t = \int_0^t \int_{\mathbb{R}_*} x(\mu(ds, dx) - \tilde{\mu}(ds, dx)),$$

$\mu(ds, dx)$ is the jump measure with deterministic compensator $\tilde{\mu}(ds, dx) = ds\Pi(dx)$, $\Pi(\cdot)$ is the Levy measure on $\mathbb{R}_* = \mathbb{R} \setminus \{0\}$, with

$$\Pi(x^2) = 1 \quad \text{and} \quad \Pi(x^8) < \infty.$$

Here we use the usual notations for $\Pi(|x|^m) = \int_{\mathbb{R}} |z|^m \Pi(dz)$.

3 Model selection

To estimate the unknown function S in the model (1), we construct a series of estimators by projection and thus we approximate the unknown function by a finite

^{*}Vlad Stefan Barbu and Slim Beltaief are with Laboratory of Mathematics Raphaël Salem, UMR 6085 CNRS-University of Rouen Normandy, France. E-mails: barbu@univ-rouen.fr, slim.beltaief1@univ-rouen.fr

[†]Serguei Pergamenshchikov is with Laboratory of Mathematics Raphaël Salem, UMR 6085 CNRS-University of Rouen Normandy, France and International Laboratory of Statistics of Stochastic Processes and Quantitative Finance of National Research Tomsk State University, Russia. E-mail: Serge.Pergamenshchikov@univ-rouen.fr

Fourier series. As we consider the estimation problem in an adaptive setting, i.e., in situation when the regularity of the function is unknown, we develop a new adaptive method based on the model selection procedure proposed in [7]. First, this procedure gives us a family of weighted least squares estimators \widehat{S}_λ , where the weight vector $\lambda = (\lambda(1), \dots, \lambda(n))$ belongs to some finite set Λ from $[0, 1]^n$. Second, we choose the best possible one by minimizing a cost function, $\widehat{\lambda} = \operatorname{argmin}_{\lambda \in \Lambda} J_n(\lambda)$, where J_n is a cost function that we consider. Using this weight coefficients $\widehat{\lambda}$ in \widehat{S}_λ leads to the model selection procedure $\widehat{S}_* = \widehat{S}_{\widehat{\lambda}}$.

4 Main results

Under general moment conditions on the noise distribution, we prove that there exists some constant $l^* > 0$ such that, for any noise distribution Q , the weight vector set Λ , for any periodic function S for any $n \geq 1$, $p \geq 3$ and $0 < \delta \leq 1/6$, we have the sharp nonasymptotic oracle inequality

$$\mathcal{R}_Q(\widehat{S}_*, S) \leq \frac{1 + 3\delta}{1 - 3\delta} \min_{\lambda \in \Lambda} \mathcal{R}_Q(\widehat{S}_\lambda, S) + l^* \frac{\sigma_Q \nu}{\delta n},$$

where $\mathcal{R}_Q(\widetilde{S}_n, S) = \mathbf{E}_{Q,S} \|\widetilde{S}_n - S\|^2$, is the quadratic risk. We also prove the same type of oracle inequality for the robust risk $\mathcal{R}_n^*(\widetilde{S}_n, S) = \sup_{Q \in \mathcal{Q}_n} \mathcal{R}_Q(\widetilde{S}_n, S)$.

5 Application

We report the results of a Monte Carlo experiment to assess the performance of the proposed model selection procedure. In (1) we chose a 1-periodic function which, for $0 \leq t \leq 1$, is defined as

$$S(t) = \begin{cases} |t - \frac{1}{2}| & \text{if } \frac{1}{4} \leq t \leq \frac{3}{4}, \\ \frac{1}{4} & \text{elsewhere.} \end{cases}$$

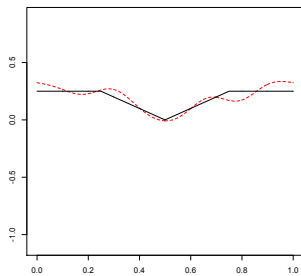


Figure 1: Estimator of S for $n = 100$

Figure 1 show the behavior of the regression function and its estimate by the model selection procedure.

Acknowledgements

The authors were partially supported by the project "Systèmes complexeXes, intelligence TERRitoriale et Mobilité" XterM–Feder.

References

- [1] V. S. Barbu, S. Beltaief and S. M. Pergamenshchikov. Robust adaptive efficient estimation for semi-Markov nonparametric regression models. - Preprint, **25 March** (2017), <https://arxiv.org/pdf/1604.04516.pdf> published in *Statistical inference for stochastic processes*.
- [2] O. E. Barndorff-Nielsen and N. Shephard. Non-Gaussian Ornstein-Uhlenbeck-based models and some of their uses in financial mathematics. *J. Royal Stat. Soc.*, **B 63**, 167–241, 2001.
- [3] I. A. Ibragimov and R. Z. Khasminskii. *Statistical Estimation: Asymptotic Theory*. Springer, Berlin–New York, 1981.
- [4] M. S. Pinsker. Optimal filtration of square integrable signals in gaussian white noise. *Problems of Transmission information*, **17**, 120–133, 1981.
- [5] V. V. Konev and S. M. Pergamenshchikov. Sequential estimation of the parameters in a trigonometric regression model with the gaussian coloured noise. *Statistical Inference for Stochastic Processes*, **6**, 215–235, 2003.
- [6] R. Höpfner and Yu. A. Kutoyants. Estimating discontinuous periodic signals in a time inhomogeneous diffusion. *Statistical Inference for Stochastic Processes*, **13** (3), 193–230, 2010.
- [7] V. V. Konev and S.M. Pergamenshchikov. Efficient robust nonparametric estimation in a semimartingale regression model. *Ann. Inst. Henri Poincaré Probab. Stat.*, **48** (4), 1217–1244, 2012.
- [8] V.V. Konev and S.M. Pergamenshchikov. Robust model selection for a semimartingale continuous time regression from discrete data. *Stochastic processes and their applications*, **125**, 294–326, 2015.
- [9] O. E. Barndorff-Nielsen and N. Shephard. Non-Gaussian Ornstein-Uhlenbeck-based models and some of their uses in financial mathematics. *J. Royal Stat. Soc.*, **B 63**, 167–241, 2001.

SOURCE DETECTION IN A FLUID NETWORK

J-G. Caputo, A. Hamdi and A. Knippel *

Abstract. We address the nonlinear inverse source problem of identifying a time-dependent source occurring in one node of a network governed by a graph wave equation. We prove that time records of the associated state taken at a strategic set of two nodes yield uniqueness of the two unknown elements: the source position and the emitted signal. Using graph theory, we discuss the number and location of the observation nodes. Numerical experiments on a 5 node graph confirm the feasibility of the approach.

Keywords. Complex systems. Networks. Inverse problem. Miscible flow. Graph theory.

1 Graph wave equation: flow of a miscible quantity on a network

Fluid networks are essential for distributing water, electricity or gas. Such miscible flows satisfy discrete conservation laws; for electrical circuits, these are the well-known Kirchoff and Ohm's laws. When dissipation is absent from the edges, miscible flows obey a "graph wave equation" where the graph Laplacian matrix replaces the ordinary Laplacian [3].

Consider a network defined by $k = 1, \dots, N$ nodes where a variable is defined over a time interval $(0, T)$ defining a vector $X(t) = (x_1(t), \dots, x_N(t))^T$. This could be the voltage for an electrical circuit. The state of the system is defined by the forced graph wave equation

$$\ddot{X}(t) - \Delta X(t) = \lambda(t)S, \quad (1)$$

where S acts on only one node and $\lambda(t)$ is a signal.

Assume that the evolution of two nodes $x_i(t)$, $x_j(t)$, $i \neq j$, $t \in [0, T]$ is known. We will consider the inverse problem of finding S and $\lambda(t)$. An important practical example is the detection of a failing generator in an electrical grid by measuring the voltage at two nodes i, j .

*Laboratoire de Mathématiques de l'INSA Rouen Normandie, France. E-mails: caputo@insa-rouen.fr, adel.hamdi@insa-rouen.fr, arnaud.knippel@insa-rouen.fr

2 Methodology and results

We introduce the sine-Fourier orthonormal basis of $L^2(0, T)$ for the standard inner product

$$\varphi_m(t) = \sqrt{\frac{2}{T}} \sin\left(\frac{m\pi}{T}t\right).$$

Multiplying each equation of (1) by φ_m and integrating by parts over $(0, T)$, we get the linear system $N \times N$

$$-(\Delta + \mu_m \mathbf{I})\bar{X}_m = \lambda_m S + P_m, \quad (2)$$

where $\bar{X}_m = (\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_N)^T$, $\bar{x}_k = \langle x_k, \phi_m \rangle$, $\lambda_m = \langle \lambda, \phi_m \rangle$ and $P_m = (x_1 \dot{\phi}_m, \dots, x_N \dot{\phi}_m)_{t=0}^T - (x_1 \dot{\phi}_m, \dots, x_N \dot{\phi}_m)_{t=T}^T$. Note that the first term of P_m is unknown.

Since $x_i(t), x_j(t)$ are known the columns i, j of $A = \Delta + \mu_m \mathbf{I}$ are known and the system reduces to

$$-A^{ij} \bar{X}^{ij} = \lambda_m S + P^{ij}, \quad (3)$$

an over-determined linear system of N equations and $N - 2$ unknowns $\bar{X}^{ij} = (\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_{i-1}, \bar{x}_{i+1}, \dots, \bar{x}_{j-1}, \bar{x}_{j+1}, \bar{x}_N)^T$ where $A^{ij}(N, N-2)$ is the matrix obtained by removing columns $A(:, i), A(:, j)$ and $P^{ij} = P_m + A(:, i)\bar{x}_i + A(:, j)\bar{x}_j$.

The solution of the inverse problem stated above involves three steps

- Find P_m by least squares to find the right hand side of (3).
- Solve the over-determined linear system (3) to find the unknown source S .
- Find the unknown signal $\lambda(t)$.

We will show that the two signals $x_i(t), x_j(t)$ determine S, λ uniquely if

- the nodes i, j are strategic, a technical condition for the least square solution to be unique.
- each observation node is in a maximal bi-connected component of the graph, a geometric condition for choosing i, j on the network so that the system (3) has a solution.

Numerical results on a 5 node graph show the feasibility of the approach.

Acknowledgements

This work is part of the **XTerM** project, co-financed by the European Union with the European Regional Development Fund and by the Normandie Regional Council. We also acknowledge partial support from the ANR grant "Fractal grid".

References

- [1] "Inverse source problem in a forced network", J.G. Caputo, A. Hamdi and A. Knippel, *Inverse Problems*, in press (2019). <https://arxiv.org/abs/1803.04895>
- [2] D. Cvetkovic, P. Rowlinson and S. Simic, *An Introduction to the Theory of Graph Spectra*, London Mathematical Society Student Texts 75, Cambridge: Cambridge University Press (2010).
- [3] J-G. Caputo, A. Knippel and E. Simo, *Oscillations of networks: the role of soft nodes*. *J. Phys. A: Math. Theor.* 46, 035101 (2013).
- [4] A. C. Scott, *Encyclopedia of nonlinear science*. London: Routledge, Taylor and Francis Group (2005).

ON GRAPH LAPLACIAN EIGENVECTORS WITH A ZERO COMPONENT

J.-G. Caputo, I. Khames and A. Knippel *

Abstract. We are interested in graphs whose graph laplacian have an eigenvector with a null component. We present a classification of λ -soft graphs, sorted by value of λ , with all soft graphs with up to 6 nodes, as well as some particular classes of graphs. This shows a structure with some graph mappings, and suggests that we can build soft graphs and find eigenvectors with soft nodes combinatorially. For some dynamical systems we can build combinatorially all the graphs having some properties by applying some graph transformations.

Keywords. Complex systems, networks. graph Laplacian, graph spectra, soft nodes.

1 Introduction

In this presentation, we are interested in graphs whose graph laplacian have an eigenvector with a null component. The graph laplacian is the matrix of node degrees minus the adjacency matrix : we refer to [1] for definitions and results on graph spectra. In a previous work [2] we called *soft node* a vertex corresponding to such a component. In the case of a multiple eigenvalue, any component of an eigenvector may be zero and we call *absolute soft node* a vertex with value zero for all eigenvector in the subspace.

Here we call *soft graphs* graphs with a soft node. This may be important to better understand some dynamical systems on networks based on the wave equation like in [2, 3, 4].

2 A classification of small λ -soft graphs

We present a classification of λ -soft graphs, sorted by value of λ , with all soft graphs with up to 6 nodes, as well as some particular classes of graphs : chains, cycles, stars, grids,... Using some graph transformations from the literature [7] and some new transformations shows a structure that suggests that in many cases we can build soft graphs and find eigenvectors with soft nodes combinatorially.

*J.-G. Caputo, I. Khames and A. Knippel are with Laboratoire de Mathématiques de l'INSA de Rouen, INSA Rouen Normandie. E-mails: {caputo, imene.khames, arnaud.knippel}@insa-rouen.fr

3 The case of eigenvectors with components in $\{-1, 0, +1\}$

In [5], we characterize all graphs for which there are eigenvectors of the graph Laplacian having all their components in $\{-1, +1\}$ or $\{-1, 0, +1\}$. Such eigenvectors are important in the study of some dynamical systems [3]. Graphs having eigenvectors with components in $\{-1, +1\}$ are called bivalent and are shown to be the regular bipartite graphs and their extensions obtained by adding edges between vertices with the same value for the given eigenvector. Graphs with eigenvectors with components in $\{-1, 0, +1\}$ are called trivalent and are shown to be soft-regular graphs –graphs such that vertices associated with non-zero components have the same degree – and their extensions via some transformations [7].

Acknowledgements

This work is part of the XTerM project, co-financed by the European Union with the European Regional Development Fund and by the Normandie Regional Council.

References

- [1] D. Cvetkovic, P. Rowlinson and S. Simic, *An Introduction to the Theory of Graph Spectra*, London Mathematical Society Student Texts 75, Cambridge: Cambridge University Press (2010).
- [2] J.-G. Caputo, A. Knippel and E. Simo, *Oscillations of networks: the role of soft nodes*. J. Phys. A: Math. Theor. 46, 035101 (2013).
- [3] J.-G. Caputo, I. Khames, A. Knippel and P. Panayotaros. *Periodic orbits in nonlinear wave equations on networks*. J. Phys. A: Math. Theor. 50, 375101 (2017).
- [4] J.-G. Caputo, I. Khames, A. Knippel and A. B. Aceves. *Localized solutions of nonlinear network wave equations*. J. Phys. A: Math. Theor. 52, 035101 (2019).
- [5] J.-G. Caputo, I. Khames and A. Knippel. *On graph Laplacian eigenvectors with components in $\{-1, 0, 1\}$* . In Press "Discrete Applied Mathematics" (2019). doi.org/10.1016/j.dam.2018.12.030
- [6] I. Khames, *Nonlinear network wave equations : periodic solutions and graph characterizations*, Thèse de Doctorat, INSA Rouen Normandie, september 2018. tel.archives-ouvertes.fr/tel-01939286
- [7] R. Merris, *Laplacian graph eigenvectors*. Linear Algebra and its Applications 278, 221-236 (1998).

RADIAL ANALYSIS AND SCALING OF URBAN LAND USE

Rémi Lemoy* and Geoffrey Caruso†

Abstract. We determine the functional form and scaling law of radial artificial land use profiles in 300 European urban areas (Larger Urban Zones). These profiles, starting from a fully artificial surface in the city center, decrease exponentially, the faster the smaller the city. More precisely, the characteristic decrease distance scales like the square root of total population, meaning that the artificial surface of cities is proportional to their population. This also means that the amount of artificial land per capita is independent of city size.

Keywords. radial analysis, scaling laws, urban land use, European cities, coastal cities.

1 Introduction

Cities are characterised by a concentration of human activities, which are associated with concentrated artificial land uses. This fact led to morphological definitions of urban areas, based for instance on the contiguity of urban fabric. Many works have studied how the size of the artificial area occupied by a city evolves with its population [1], in order to understand for instance whether small or large cities are more parsimonious in terms of land use per capita. However, the results are not so clear, mainly because of the difficulty in the definition of the city itself.

Here we use the lens of radial analysis (from the city center to the periphery), which is a nice simplifying tool for this complex problem. Although quite many works have studied the radial profiles of population density in urban areas (following [2]), only few works have studied radial profiles of land use, [3] being a notable exception.

From the results of a previous work [4], we expect a certain behaviour for the artificial land use profiles $s_N(r)$ of European cities (where N measures the total population and r is the distance to the center): they should all start at a 100% artificial land use share in the center and decrease faster for smaller cities. We can write this more precisely as $s_N(r) = s_1(r/\sqrt{N})$, with $s_1(0) = 1$ (see also [5]). We aim here to confirm these results with regression methods, and to characterize the mathematical form of

this s_N function and its scaling properties.

2 Methods and results

The same data is used as in [4], that is the GMES/Copernicus Urban Atlas 2006, identifying land use very precisely across the 300 largest cities in Europe, at the level of Eurostat's Larger Urban Zones (LUZ). The city center is chosen as the location of the city hall, and land use is averaged in rings of fixed width (141 m) around it. All artificial land uses are aggregated, yielding 300 radial profiles of artificial land use $s_N(r)$ (illustrated in [4]). These radial profiles are then fitted using different methods, in order to summarize their mathematical properties.

2.1 Linear and non-linear models

We first try a simple exponential fit for each city, using two methods: a linear fit of the logarithm of land use, or a non-linear fit of the raw value.

$$\begin{aligned}\log(s_N(r)) &\sim \log(a_N) - r/l_N \\ s_N(r) &\sim a_N \exp(-r/l_N)\end{aligned}$$

In both cases, a square error is minimised, but not the same one: the linear fit of the logarithm minimises the (squared) relative error, while the non-linear fit minimises the (squared) absolute error. The results are illustrated on Figure 1 (left and center). We observe that the results of the non-linear fit are closer to the expectations of [4], and also more pertinent, with more reasonable values of the predicted share of artificial land in the center. The predicted characteristic decrease distance l_N is also less dispersed and follows much more closely the \sqrt{N} scaling law found by [4]. This is also illustrated by the summaries of these fits in Table 1 (models L and NL, respectively).

$$\begin{aligned}\log(l_N) &\sim \log(l_1) + \alpha \log N \\ l_N &\sim l_1 N^\alpha\end{aligned}$$

We see this all as pointing to the fact that the non-linear fit is more informative than the linear one, because the non-linear fit describes the city center better than the linear fit. Indeed, the non-linear fit minimises the square

*Rémi Lemoy works at IDEES, University of Rouen, France. E-mail: remi.lemoy@univ-rouen.fr

†Geoffrey Caruso is at University of Luxembourg and Luxembourg Institute of Socio-Economic Research (LISER). E-mail: geoffrey.caruso@uni.lu

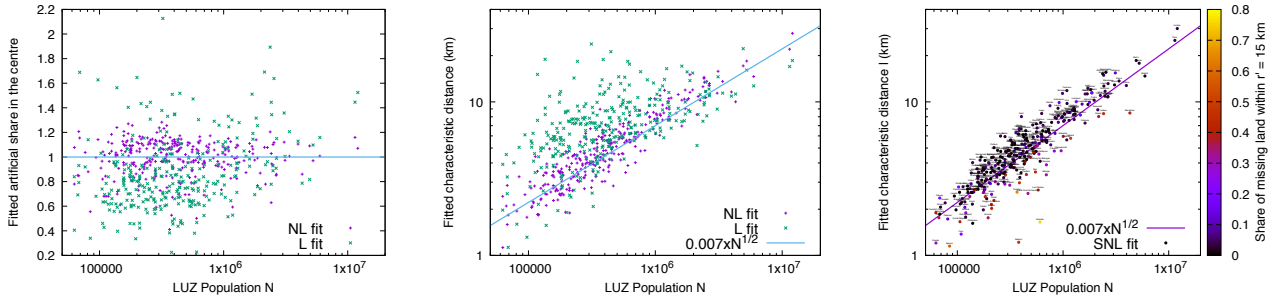


Figure 1: Exponential fits of artificial land use profiles: 2-parameter (left, center) and 1-parameter (right) models.

 Table 1: Linear fit $\log(l_N) \sim \alpha \log(N) + \log(l_1)$ for the different models.

	L	NL	SNL	NL20	SNL20
Scaling exponent α	0.310*** (0.024)	0.499*** (0.012)	0.512*** (0.014)	0.506*** (0.012)	0.512*** (0.011)
Exp(constant): l_1 (m)	124.2*** (45.4)	7.64*** (1.32)	6.23*** (1.24)	7.06*** (1.15)	6.64*** (1.03)
Observations	302	302	302	246	246
R^2	0.356	0.847	0.816	0.886	0.897

Note: *** $p < 0.01$

error of the artificial land use shares, while the linear fit minimises the square error of the logarithm of these shares. As these shares are decreasing when the distance from the city center increases, the logarithm magnifies the errors further away from the city center, putting an emphasis on the description of periurban areas. Conversely, the non-linear fit emphasises the description of central areas. Thus, the linear model is led astray by small absolute (but large relative) variations of land use in peripheral areas, which the non-linear model tends to disregard.

2.2 Two- and one-parameter models

Actually, even with the non-linear model, a large part of the cities are predicted to have more than 100% artificial land in their center, which is impossible. We then try to force this 100% value in the center, and to use a one parameter exponential fit which we call SNL (for simple non-linear model), where the only parameter is the characteristic decrease distance l_N : $s_N(r) \sim \exp(-r/l_N)$. In Table 1, we compare this new one-parameter fit SNL to the two-parameter fit NL which was the most successful so far. We see that the two sets of fits give similar evolutions of the inverse decrease distance, in agreement with the \sqrt{N} scaling law of [4]. Models NL20 and SNL20 disregard coastal cities (see Figure 1 left).

As a conclusion, the artificial land use radial profiles of the 300 studied European cities are surprisingly well

described by the simple mathematical expression $s_N(r) = \exp(-r/l_1\sqrt{N})$, with $l_1 \simeq 7$ m.

Acknowledgements

The research was supported, in part, by funding from FNR Luxembourg with the ALONSO-EU postdoc project and from University of Luxembourg with the SOSBUGS project. The authors acknowledge interesting discussions with V. Vigié.

References

- [1] Michael Batty, Peter Ferguson, et al. Defining city size. *Environment and Planning B*, 38(5):753–756, 2011.
- [2] Colin Clark. Urban population densities. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 114(4):490–496, 1951.
- [3] Marianne Guérois and Denise Pumain. Built-up encroachment and the urban field: a comparison of forty European cities. *Environment and Planning A*, 40(9):2186–2203, 2008.
- [4] Rémi Lemoy and Geoffrey Caruso. Evidence for the homothetic scaling of urban forms. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, page 2399808318810532, 2018.
- [5] Justin Delloye, Rémi Lemoy, and Geoffrey Caruso. Alonso and the scaling of urban profiles. *Geographical Analysis*, 2 2019.

Modélisation d'une structure spatiale dans le cadre d'un TOD : application à l'aire urbaine d'Orléans.

Martin Tanguy, Franck Guérit¹

Résumé. Le modèle proposé a pour objectif d'étudier la mobilité comme vecteur de densification de l'espace, à partir des caractéristiques de son occupation. A travers l'aire urbaine d'Orléans, espace laboratoire en termes d'étalement urbain, nous proposons ici une approche qui modélise ses caractéristiques spatiales (densité, accessibilité, etc.) afin de réaliser un outil d'aide à la décision pour les différents acteurs du territoire : planification stratégique et choix résidentiel.

Mots-clés. Mobilité, réseau, densification, formes urbaines, choix résidentiel.

1 Concept du modèle MOFOSIG

Dans le cadre d'un Appel à Projets de Recherche d'Intérêt Régional - APR IR – de la région Centre-Val de Loire, le modèle MOFOSIG (MOBilités, FORMes urbaines, SIG) a pour objectif d'articuler entre mobilité et formes d'occupation de l'espace, appliqué à l'aire urbaine d'Orléans (146 communes). Ces communes reflètent des situations hétérogènes entre son hyper-centre, ses petites villes périphériques, ses espaces ruraux et périurbains, ce qui aboutit à une hétérogénéité spatiale et sociale. Cette diversité a des conséquences sur les choix modaux de déplacement et de localisation résidentielle, avec un processus d'étalement urbain[1] et un usage majoritaire des véhicules individuels (55,2%.[2]). Plusieurs outils (LUTI) existent afin de modéliser la relation entre l'utilisation du sol (localisation des habitations et des activités) et le mode de transport [3].

Le modèle MOFOSIG s'inscrit dans la logique des TOD (*Transit-oriented development*), approche d'aménagement conceptualisée aux Etats-Unis[4] dans le but d'un développement durable fondé sur la mise en cohérence d'une ville des courtes distances, polycentrique et dense, à fort usage des transports en commun.

Un TOD s'organise autour d'un réseau de transit aménagé de l'échelle locale à régionale[5]. Nous le modélisons par un graphe structuré en trois échelles. Premièrement, l'échelle locale correspond à l'arrêt de transport et à sa zone de proximité, porte d'entrée du

réseau de transport matérialisée par les nœuds du graphe. Au niveau intermédiaire répond l'organisation en couloir (ligne de bus, etc.) des zones de proximités ; elle assure la continuité des lieux et est définie par les liens du graphe reliant les différents nœuds. Enfin, la strate régionale est celle de l'ensemble de la zone polarisée, l'aire urbaine, caractérisée par la topologie de son réseau. Chaque niveau possède des données attributaires associées (Fig. 1).

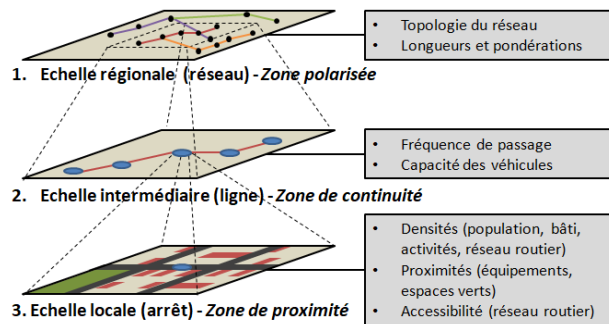


Figure 1. Structure du modèle MOFOSIG

2 Intégration des données

La structure de MOFOSIG intègre les données relatives à l'espace urbain, renseignées au niveau des nœuds. Trois étapes sont nécessaires pour édifier ce graphe.

1) La première phase trouve les données de transport ainsi que les données urbaines. Les données sont open-source : de l'IGN (occupation du sol) et d'OpenStreetMap (réseau et emplacement des arrêts).

2) La seconde étape délimite la zone de proximité associée à chaque arrêt. Nous mesurons, au départ de chaque arrêt placé sur le réseau routier, l'espace accessible à 400m de chaque arrêt de transport. Distance utilisée dans le modèle TOD comme étant celui de la ville des courtes distances (5 minutes de marche à pied). Cela crée une enveloppe correspondant à la zone de proximité de l'arrêt de transport (Fig. 2)

¹ Martin Tanguy et Franck Guérit sont membre du Centre d'étude pour le Développement des Territoires et d'Environnement – CEDETE – EA 1210, Université d'Orléans.

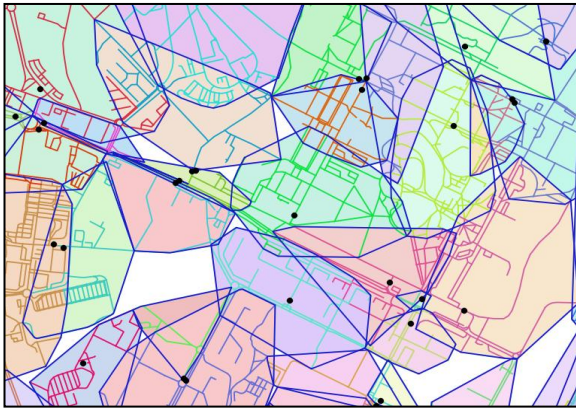


Figure 2. Zones de proximité dans le quartier de la Source à Orléans

3) Une fois les zones de proximités créées, la troisième phase agrège les données urbaines, propres à chaque zone de proximité, au nœud. Cette opération couple l'effet de l'urbanité au réseau et d'en évaluer l'influence réciproque.

3 Caractériser l'urbanité

Une structure de quatre axes a été construite pour qualifier ce que nous nommons l'urbanité de chaque zone de proximité (Fig.3), à partir de deux traits fondamentaux de l'espace urbain : sa compacité et son accessibilité. La compacité définit une « urbanité de lieu », fondée sur la densité et la mixité et permet de quantifier les zones d'origine et de destination des déplacements entre résidences et activités urbaines (emploi, commerces, etc.). L'accessibilité renvoie à une « urbanité relative » qui renseigne sur les lieux les mieux connectés (la centralité) et qui définit leur importance stratégique (l'intermédierité). En croisant ces différentes dimensions, une typologie de 16 profils d'urbanité est établie en associant une valeur de compacité (A à D) et d'accessibilité (1 à 4).

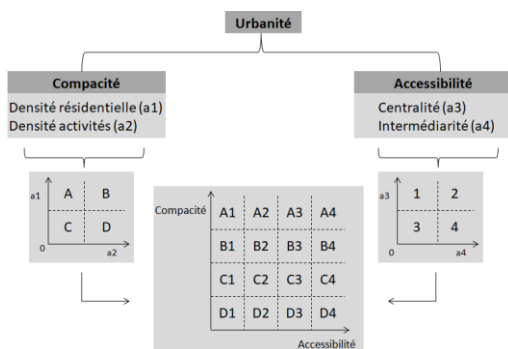


Figure 3. Typologie des urbanités

La figure 4 mesure la densité résidentielle (a1) dans l'hypercentre d'Orléans par le rapport entre le pourcentage de bâti et la surface totale de la zone de proximité.



Figure 4. Densité résidentielle dans l'hypercentre d'Orléans

4 Vers un outil d'aide à la décision

Au final, calé sur les références urbaines du TOD et de la « ville cohérente », ce modèle met en place un outil d'aide à la décision. Cela permet d'assurer la bonne intégration des formes urbaines au réseau de transport dans le cadre d'un projet d'aménagement basé sur les principes TOD. Des scénarios et des simulations (modification des densités, création/ablation d'un arrêt de transport en commun, modification des lignes) sont alors rendus possibles de manière prospective. Par ailleurs, l'outil permet d'aller au-delà d'une simple application du modèle TOD à un système SIG, puisqu'il permet également d'évaluer les choix résidentiels des habitants en termes de modes de vie. L'ensemble de ces fonctionnalités seront disponibles via un outil web SIG pour l'aide à la décision, via l'exploration des données actuelles, mais aussi de planification destinée aux différents administrateurs de l'aire urbaine via l'élaboration de scénarios.

Références

- [1] G. Pouyanne, « Note de recherche. Une estimation du lien entre forme urbaine et choix modal. Le cas de six aires urbaines françaises », *Rev. DÉconomie Régionale Urbaine*, vol. octobre, n° 3, p. 521, 2007.
- [2] Orléans Métropole, « Révision du Plan de Déplacements Urbains ». 2017.
- [3] R. A. Acheampong et E. Silva, « Land use–transport interaction modeling: A review of the literature and future research directions », *J. Transp. Land Use*, juill. 2015.
- [4] G. Billard, « Transports en commun et densification : vers une nouvelle configuration urbaine des villes états-uniennes ? », *Bull. Assoc. Géographes Fr.*, vol. 91, n° 2, p. 150-163, juin 2014.
- [5] O. Bonin et L. Tomasoni, « Evaluation of a transit-oriented development scenario in a medium-sized French city by simulation models », *Int. J. Transp.*, vol. 3, n° 1, p. 91-112, avr. 2015.

PERIODIC SOLUTIONS OF NONLINEAR NETWORK WAVE EQUATIONS

J-G. Caputo, I. Khames and A. Knippel *

Abstract. We consider a cubic nonlinear wave equation in arbitrary finite networks. This is a general model, where the usual continuum Laplacian is replaced by the graph Laplacian. We study two types of periodic solutions : nonlinear periodic orbits continued from linear normal modes, and spatially localized solutions. This study relates nonlinear dynamics to graph spectral theory.

Keywords. Complex systems. Networks. Nonlinearity. Non-linear waves. Network dynamics. Graph theory.

1 Introduction

Complex networks are used to describe many real-world complex systems: biological networks (e.g. protein-protein interaction networks, neural networks), disease networks (e.g. epidemiology), ecological network, and electric power systems. The dynamics on networks is described by discrete nonlinear dynamical systems. These are systems of coupled nonlinear ordinary differential equations (ODEs) represented on graphs where the nodes are the components and the edges their interactions. Discreteness and nonlinearity are inherent to many systems in nature *e.g.* Josephson junction arrays, optical waveguides, diodes coupled by inductances and molecular crystals, to name some [1].

In the linear theory, Newton's second law for coupled harmonic oscillators leads to the graph wave equation where the standard continuous Laplacian is replaced by the graph Laplacian [2]. This formulation is very useful because the graph Laplacian is a symmetric matrix, so that its eigenvalues are real and we can choose a basis of orthogonal eigenvectors. It is then natural to describe the dynamics of the network by projecting it on a basis of the eigenvectors, which reduces the dynamical equations to an eigenvalue problem [3]. This parallels Fourier transform in continuum systems, and gives rise to orbits (phase curves) which are time-periodic, also called normal modes. These are bound states of the Hamiltonian which is a quadratic, symmetric function of positions and velocities. Because of the orthogonality, normal modes do not couple and the harmonic theory is well understood and can be analyzed in terms of normal modes, by using their linear combinations.

*Laboratoire de Mathématiques de l'INSA Rouen Normandie, France. E-mails: caputo@insa-rouen.fr, imene.khames@insa-rouen.fr, arnaud.knippel@insa-rouen.fr

However, when nonlinearity is present in the equations of motion, normal modes will couple. Natural questions are: how do they couple? Is there any trace of them in the nonlinear regime? We investigate which normal modes of the linear theory can or cannot be extended to the full nonlinear theory. This study leads us to consider the theory of graph spectra and to ask: what kind of graph admits Laplacian eigenvectors yielding nonlinear normal modes ?

Coupled nonlinear oscillators can give rise to another type of periodic vibrations that are typically exponentially (spatially) localized solutions [4]. These are labeled "intrinsic localized modes" and come from the interplay between nonlinearity and discreteness. It is important to ask: how can we approximate this type of nonlinear periodic solutions?

In the literature, nonlinear normal modes and localized modes in discrete models are studied in the particular case of lattices. The contribution of our previous works [5, 6] consist of the study of nonlinear normal modes and localized modes in general networks of arbitrary topology, by the formulation of the discrete models using the graph Laplacian, this leads to relate the nonlinear dynamics to the graph spectral theory [7].

2 Nonlinear network wave equation

We consider the nonlinear wave equation on a connected graph with N nodes

$$\frac{d^2\mathbf{u}}{dt^2} = -\Delta\mathbf{u} - \mathbf{u}^3, \quad (1)$$

where $\mathbf{u} = (u_1(t), u_2(t), \dots, u_N(t))^T$ is the field amplitude, $\mathbf{u}^3 = (u_1^3, u_2^3, \dots, u_N^3)^T$, and Δ is the graph Laplacian [2]. This $N \times N$ matrix is $\Delta = \mathbf{A} - \mathbf{D}$, where \mathbf{A} is the adjacency matrix such that $A_{ij} = 1$ if nodes i and j are connected ($i \neq j$) and $A_{ij} = 0$ otherwise, and \mathbf{D} is the diagonal matrix where the entry $d_i = \sum_{j=1}^N A_{ij}$ is the degree of vertex i .

Equation (1) is an extension to a graph of the Φ^4 well-known model in condensed matter physics [1]. In the literature, for example [8] and references therein, the discrete

Φ^4 model was studied only in the particular case of lattices where the graph Laplacian $(\Delta \mathbf{u})_i = u_{i+1} - 2u_i + u_{i-1}$ (for a one-dimensional lattice) is a finite difference discretization of the continuous Laplacian. This formulation is natural since the linear graph wave equation arises from discrete conservation laws [3]. In [9], we formulate the discrete Φ^4 model using the graph Laplacian to describe general networks of arbitrary topology, like for example an electrical network. The model can describe networks of nonlinear oscillators, such as Josephson junctions or diodes [8]. In mechanical engineering, several aerospace structures e.g. turbine rotors or space antennas, are composed of weakly coupled sectors assembled in a cyclic and symmetric configuration. Such a complex system can be reduced to (1) [10].

3 Periodic orbits in nonlinear network wave equation

In [5], we study periodic orbits of the discrete Φ^4 model (1). We identify which normal modes of the graph Laplacian can be extended into nonlinear periodic orbits (generalizing work of Aoki [11]). Three different types of periodic orbits were found, the monovalent (the so-called Goldstone [8]) mode that exists in all graphs, and what we call bivalent and trivalent modes, depending on whether the corresponding eigenvectors are composed of 1 or $-1, +1$ or $-1, 0, +1$ (respectively). Then, we perform a systematic linear stability (Floquet) analysis of these orbits and show how a small nonlinearity will couple the normal modes when the orbit is unstable. In particular, the linearized equations are decoupled for normal modes associated to eigenvectors without 0 (called soft nodes [3]), these modes are the monovalent (Goldstone) and the bivalent orbits. We find that for chains the Goldstone mode is stable for a wide range of parameters while the bivalent mode is unstable. Nevertheless, the stability analysis for modes with soft nodes is more complicated since the linearized equations are coupled. Numerical results of some graphs show that trivalent periodic orbits that continue nondegenerate linear modes are unstable below an amplitude threshold; orbits continued from modes with frequency degeneracy are unstable.

4 Localized solutions of nonlinear network wave equation

In [6], we study localized solutions for the nonlinear graph wave equation on finite arbitrary networks

$$\frac{d^2 \mathbf{u}}{dt^2} = -\epsilon \Delta \mathbf{u} - \omega^2 \mathbf{u} - \mathbf{u}^3. \quad (2)$$

where ω is a natural frequency and ϵ is a linear coupling coefficient. Assuming a large amplitude localized initial condition on one node of the graph ($u_j(0) = \rho >$

1, $u_k(0) = 0 \quad \forall k \neq j$), we approximate its evolution by the Duffing equation. The rest of the network satisfies a linear system forced by the excited node. This approximation is validated by Fourier analysis and by reducing the nonlinear graph wave equation to the discrete nonlinear Schrödinger equation

$$\frac{2i\omega}{\epsilon} \frac{d\psi}{dt} = -\Delta \psi - 3|\psi|^2 \psi, \quad (3)$$

where $\mathbf{u}(t) = \sqrt{\epsilon} \psi(\epsilon t) e^{i\omega t} + \sqrt{\epsilon} \psi^*(\epsilon t) e^{-i\omega t}$. This model describes the coupling between waveguides in an optical array [12]. Finally, we examine numerically the condition for localization in the parameter plane, coupling versus amplitude and show that the localization amplitude depends on the maximal normal eigenfrequency.

Acknowledgements

This work is part of the XTerM project, co-financed by the European Union with the European Regional Development Fund and by the Normandie Regional Council.

References

- [1] A. C. Scott, *Nonlinear Science: Emergence and Dynamics of Coherent Structures*, Oxford Texts in Applied and Engineering Mathematics, 2nd edn, Oxford-New York: Oxford University Press (2003).
- [2] D. Cvetkovic, P. Rowlinson and S. Simic, *An Introduction to the Theory of Graph Spectra*, London Mathematical Society Student Texts 75, Cambridge: Cambridge University Press (2010).
- [3] J-G. Caputo, A. Knippel and E. Simo, *Oscillations of networks: the role of soft nodes*. J. Phys. A: Math. Theor. 46, 035101 (2013).
- [4] S. Flach and A. V. Gorbach, *Discrete breathers - Advances in theory and applications*, Physics Reports 467, 1-116 (2008).
- [5] J-G. Caputo, I. Khames, A. Knippel and P. Panayotaros. *Periodic orbits in nonlinear wave equations on networks*. J. Phys. A: Math. Theor. 50, 375101 (2017).
- [6] J-G. Caputo, I. Khames, A. Knippel and A. B. Aceves. *Localized solutions of nonlinear network wave equations*. J. Phys. A: Math. Theor. 52, 035101 (2019).
- [7] J-G. Caputo, I. Khames and A. Knippel. *On graph Laplacian eigenvectors with components in $\{-1, 0, 1\}$* . In Press "Discrete Applied Mathematics" (2019). doi.org/10.1016/j.dam.2018.12.030
- [8] A. C. Scott, *Encyclopedia of nonlinear science*. London: Routledge, Taylor and Francis Group (2005).
- [9] I. Khames, *Nonlinear network wave equations : periodic solutions and graph characterizations*, Thèse de Doctorat, INSA Rouen Normandie, september 2018. tel.archives-ouvertes.fr/tel-01939286
- [10] A. Grolet, N. Hoffmann, F. Thouverez C. Schwingshackl, *Travelling and standing envelope solitons in discrete non-linear cyclic structures*. Mechanical Systems and Signal Processing, Vol 81, 75-87 (2016).
- [11] Kenichiro Aoki, *Stable and unstable periodic orbits in the one-dimensional lattice ϕ^4 theory*. Phys. Rev. E 94, 042209 (2016).
- [12] A. B. Aceves and J-G. Caputo, *Mode dynamics in nonuniform waveguide arrays: A graph Laplacian approach*, Journal of Optics 16(3), 035202 (2014).

Espaces d'actions encouragées

FIELD OF PROMOTED ACTIONS AND AFFORDANCES: TOWARD NON-LINEAR PEDAGOGY

Ludovic SEIFERT¹

Abstract. This presentation presents an overview of perceptual-motor learning following ecological dynamics framework and describes the main underlying processes (i.e. education of intention, education of attention or attunement, and calibration). A second section emphasizes how designing a rich landscape of affordances and a field of promoted actions could lead to effective learning. More importantly we highlight how this type of intervention could contribute to non-linear pedagogy.

Keywords. Ecological dynamics; perceptual-motor learning; perception-action coupling; affordances; skill.

1 Introduction

This presentation highlights how the learning process is conceptualized in ecological dynamics theoretical framework [6,7,15] and emphasizes how field of promoted actions [1,13] and rich landscape of affordances [14] could be designed. Taken together, we explain how this approach leads teachers, instructors and coaches toward a non-linear pedagogy [5].

2 Education of intention, education of attention and calibration

First, we explain how the ecological approach conceptualized the learning process, in particular by describing three stages. Agents learn to achieve a task goal notably because they learn to perceive opportunities for action offered by the environment and relative to their own capacities, i.e. they learn to perceive *affordances* [9].

As many perceptions and actions are possible in any situation, learners need to *educate their intentions* to specify what needs to be achieved in a performance context [11]. Indeed, in certain situations, particular perceptions and actions are more functional than others, and with experience, learners improve at choosing perceptions and actions to achieve task goals. The education of intention is not just an information-guiding process. Intention directs the attention of a learner to functionally explore (act) and perceive relevant informational variables for further action. The education of intention would result in a convergence of the learner's goals with

the task goals through a continuous rearrangement of the motor repertoire. Through exploration of the perceptual motor workspace, the learners can discover motor solution [12].

With practice, the learners become perceptually attuned to more useful informational variables. In other words, *education of attention* means that learners converge from sources of information that may be only partly useful in one situation to sources of information that are more useful under a variety of circumstances. Attunement to informational variables allows the learners to regulate how they move in accordance with environmental factors. Doing so, learners stabilize discovered performance solutions but they also explore the limits of these solutions.

Later in practice, learners become attuned to wider range of informational variables that more precisely specify how to move effectively [11]. This process is called *calibration* and corresponds to scale the perceptual-motor system to information. Withagen and Michaels [18] hypothesized that calibration of behavior is functionally organized, meaning that calibration is specific not to the anatomical structures used in performing the behavior but to the function that the behavior serves. For instance, Seifert et al. [16] showed that both low and high experienced ice climbers could hook the blade of their ice axes in the existing holes of the icefall, but only high experienced climbers are calibrated to useful informational variables (i.e. deep holes; holes orientated downward; holes surrounded by solid ice) for action. Therefore when the hole is deep, climbers hook it whereas when the hole looks small and surrounded by fragile ice, climbers swing their ice axes before.

3 Landscape of affordances and field of promoted actions

In order to educate learner's *intention* and *attention*, teachers, instructors and coaches should design rich landscape of affordances [14]. The design of rich landscape of affordances invites the learners to functionally explore, to experience various situations and to discover several solutions. Indeed, one can believe that sanitizing the landscape of affordances would offer more stability,

¹ Ludovic Seifert is with CETAPS EA3832, Faculty of Sport Sciences, University of Rouen Normandy, France. E-mail: ludovic.seifert@univ-rouen.fr

but this short-term effect would mainly narrow behavioral flexibility and ignore the diversity of the ecological niche. Therefore, the main reason to design rich landscape of affordances is to promote creativity and innovation through exploratory behaviors.

Thus, teachers, instructors and coaches could design a field of promoted actions, in order to introduce into the field of action a set of activities, objects, places that must lead the learner to increase its potential actions and consequently, enlarge his/her perceptual-motor repertoire [1,13]. The properties of the field of promoted actions of a learner have the following characteristics: i) an action may be more or less strongly encouraged or prohibited; ii) some artifacts, some affordances may be more or less available in the learner's landscape; iii) in any society there are rules on the roles to be played by the different agents according to the situations, and on the objects that should then be used; (iv) its organization varies according to the age and level of development and control of a given behavior or ability according to what is considered appropriate at a given moment. Playing with those characteristics corresponds to set boundaries within which learners are invited to explore various solutions.

4 Toward non-linear pedagogy

The design of landscape of affordances and field of promoted actions contributes to a non-linear pedagogy that could be defined through several principles [2,5]: the representativeness of the situation, focus of attention, functional variability through exploratory behaviors, field of promoted actions (i.e., manipulation of constraints), and ensuring relevant information-movement couplings (e.g., favoring perception of affordances). Through these principles, non-linear pedagogy emphasizes the non linearity and non proportionality between the amount of practice undertaken and the perceptual-motor learning. In contrast to such a linear pedagogical orientation that prescribes the movement to be learned, giving numerous verbal instructions, non-linear pedagogy encourages behavioral exploration, interaction with task and environmental constraints. In non-linear pedagogy, error-reduction towards a theoretical model is thus not relevant. The challenge for coaches, instructors and teachers is instead to create conditions that facilitate the exploratory process for the learner, rather than merely providing a precise description and prescription of a movement pattern or a team tactical pattern to follow.

References

- ¹ *Bril B.* Apprentissage et contexte. *Intellectica* 2002; 52: 251–268
- ² *Chow J.* Nonlinear Learning Underpinning Pedagogy:

- Evidence, Challenges, and Implications. *Quest* 2013; 65: 469–484
- ³ *Chow JY, Davids K, Button C, Shuttleworth R, Renshaw I, Araújo D.* Nonlinear pedagogy: a constraints-led framework for understanding emergence of game play and movement skills. *Nonlinear Dynamics Psychol Life Sci* 2006; 10: 71–103
- ⁴ *Chow JY, Davids K, Button C, Shuttleworth R, Renshaw I, Araújo D.* The Role of Nonlinear Pedagogy in Physical Education. *Rev Educ Res* 2007; 77: 251–278
- ⁵ *Chow JY, Davids K, Hristovski R, Araújo D, Passos P.* Nonlinear pedagogy: Learning design for self-organizing neurobiological systems. *New Ideas Psychol* 2011; 29: 189–200
- ⁶ *Davids K, Araújo D, Hristovski R, Passos P, Chow JY.* Ecological dynamics and motor learning design in sport. In: Hodges NJ, Williams AM (eds.). *Skill acquisition in Sport: research, theory and practice.* New York, NY, USA: Routledge (Taylor and Francis Group), 2012: 112–130
- ⁷ *Davids K, Araújo D, Seifert L, Orth D.* Expert performance in sport: An ecological dynamics perspective. In: Baker J, Farrow D (eds.). *Handbook of Sport Expertise.* London, UK: Taylor & Francis, 2015: 273–303
- ⁸ *Davids K, Button C, Bennett SJ.* Dynamics of skill acquisition: A Constraints-led approach. Champaign, IL: Human Kinetics, 2008
- ⁹ *Gibson J.* The senses considered as perceptual systems. Boston, USA: Houghton Mifflin, 1966
- ¹⁰ *Hambrick D, Oswald F, Altmann E, Meinz E, Gobet F, Campitelli G.* Deliberate practice: Is that all it takes to become an expert? *Intelligence* 2014; 45: 34–45
- ¹¹ *Jacobs DM, Michaels CF.* Direct Learning. *Ecol Psychol* 2007; 19: 321–349
- ¹² *Newell KM, McDonald P V, Kugler PN.* The perceptual-motor workspace and the acquisition of skill. In: Requin J, Stelmach GE (eds.). *Tutorials in motor neuroscience.* Netherlands: Kluwer Academic, 1991: 95–108
- ¹³ *Reed E, Bril B.* The primacy of action in development. A commentary of N. Bernstein. In: Latash ML (ed.). *Dexterity and its development.* Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1996: 431–451
- ¹⁴ *Rietveld E, Kiverstein J.* A rich landscape of affordances. *Ecol Psychol* 2014; 26: 325–352
- ¹⁵ *Seifert L, Orth D, Button C, Brymer E, Davids K.* An Ecological Dynamics Framework for the Acquisition of Perceptual-Motor Skills in Climbing. In: *Extreme Sports Medicine.* Cham: Springer International Publishing, 2017: 365–382
- ¹⁶ *Seifert L, Wattedled L, Herault R, Poizat G, Adé D, Gal-Petitfaux N, Davids K.* Neurobiological Degeneracy and Affordance Perception Support Functional Intra-Individual Variability of Inter-Limb Coordination during Ice Climbing. *PLoS One* 2014; 9: e89865
- ¹⁷ *Tucker R, Collins M.* What makes champions? A review of the relative contribution of genes and training to sporting success. *Br J Sports Med* 2012; 46: 555–561
- ¹⁸ *Withagen R, Michaels C.* The calibration of walking transfers to crawling: Are action systems calibrated? *Ecol Psychol* 2002; 14: 223–234

INVESTIGATING INDIVIDUAL PATHWAYS OF LEARNING: MODELLING THE DYNAMICS OF LEARNING WITH DRIFTING MARKOV MODEL

John Komar¹, Nicolas Vergne² and Ludovic Seifert³

Abstract. This work intends to propose an innovative process to quantify the nature of motor exploration during learning. Indeed, although the exploratory nature of learning is widely accepted now, few tools really exist in order to investigate the effectiveness of exploration. We firstly applied an unsupervised cluster analysis on the time series of arm-leg coordination of swimmers in order to label the coordinative patterns that emerged during the entire learning process. Thereafter, we individually applied a Drifting Markov Modeling on the successive emergence of coordination patterns during learning, quantifying how the learner's behavior switched from one pattern to another one during learning before stabilizing a final pattern. Three typical dynamics were then identified, namely the coordination patterns that disappeared with practice (the initial behaviors), the coordination patterns that appeared with practice (the newly learned behaviors), and the coordination patterns that appeared with practice but only for a short period of time before they disappeared. This last type of behavior was then qualified as motor exploration during learning.

Keywords. Ecological Dynamics, clustering, Drifting Markov Modelling, inter-limb coordination, exploratory learning.

1 Introduction

One crucial question to understand is how human learn new coordination patterns (i.e., in a way that has never been performed previously) during goal-directed activity. Newell and Vaillancourt [1] originally proposed that individual exploration of the perceptual motor workspace is useful to acquire complex motor skills and to transfer those skills to new situation. Indeed, the workspace is meant to evolve qualitatively with ongoing practice because even some temporary stabilization of new explored behaviors allows further exploration to continue [2]. In the current work, we sought to evidence and model this exploratory nature of motor learning, highlighting the

presence of temporary behaviors during the learning process.

2 Method

2.1 Protocol

Seven participants, all novices in breaststroke swimming participated in this study. All participants realized 16 learning sessions with two sessions per week, in approximatively two months. During each lesson, the learners performed 250m for which the swimming speed was kept constant. The general of the learning was therefore to improve swimming efficiency for a constant speed, through the increase in stroke length.

2.2 Assessing the emergent arm-leg coordination during learning

Following previous work from Komar, Potdevin, Seifert, et al. [3], the arm-leg coordination of the seven beginner swimmers was recorded during the entire learning process using small inertial measurement unit. During this period, every time the learners were practicing, all their trials were assessed, consisting after two months in approximatively 1000 cycles per learner. All those cycles (i.e. from all the learners and all the sessions) were then cut, time normalized and put into a cluster algorithm that allowed to label each cycle that emerged during the entire learning process.

2.3 Modeling individual pathways of learning

The second step consisted in reconstructing the individual time series for each learner in order to visualize the succession of the coordinative patterns in time. Based on this, Drifting Markov Modelling (DMM, [4]) was applied on those time series. The advantage of DMM compared to a regular Markov Chain is that rather than a single fixed transition matrix, it actually models the evolution of this transition matrix with time, showing how the transitions occurred when learning operates.

¹ John Komar is with National Institute of Education, Nanyang Technological University, Singapore. E-mail: john.komar@nie.edu.sg

² Nicolas Vergne is with LMRS laboratory - Department of Mathematics, University of Rouen Normandy, France. E-mails: nicolas.vergne@univ-rouen.fr

³ Ludovic Seifert is with CETAPS laboratory - Department of sport sciences, University of Rouen Normandy, France. E-mails: ludovic.seifert@univ-rouen.fr

3 Main results

Eleven different emerging patterns were extracted from the clustering using the BIC index (through all the learners, Figure 1).

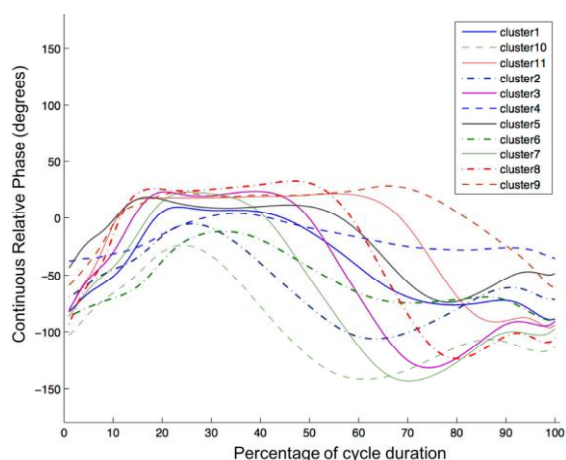


Figure 1: Mean patterns of coordination for each emerging cluster from Cluster 1 to cluster 11.

The time series of those patterns for all the sessions were reconstructed for each learner (Figure 2.A). Afterwards, the application of DMM provided for each individual the probability of appearance of each of the exhibited coordination patterns, at any given time of practice (i.e. from cycle 1 to the last cycle performed) (Figure 2.B), following a linear drift of degree 3.

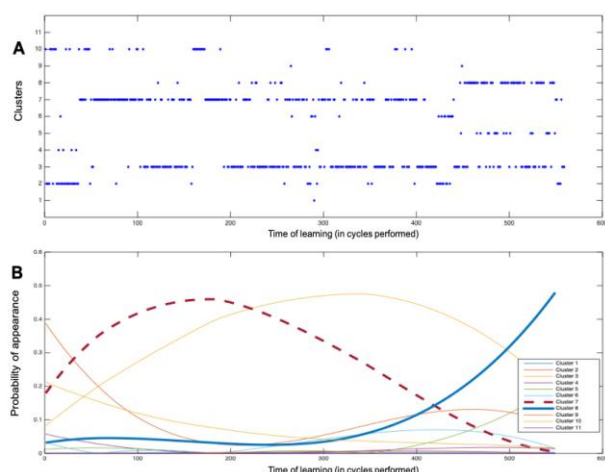


Figure 2: Distribution of movement clusters for one learner over repetitions and sessions (2.A) and corresponding DMM of the above distribution (2.B). In 2.A: each dot represents one cycle performed during the entire learning process. In 2.B: each line represents the probability of appearance of one movement cluster at every time of the learning process, based on actual observations from 2.A.

4 Discussion

From the cluster analysis, the current results highlight the highly degenerative nature of the learning process, showing the numerous motor organization that emerge during the entire process of learning. Most importantly, the temporal dynamics of those emerging patterns show intermittent periods where new coordination patterns emerge and alternate with previous patterns already existing in the intrinsic dynamics of the learner [3].

In addition, the DMM modelling allowed to clearly differentiate three types of dynamics: the coordination patterns that disappear early during learning (i.e. the initial tendencies that were not efficient), the coordination patterns that appear with practice (i.e. the new to-be-learned patterns, e.g. the thick continuous line on Figure 2.B), and the coordination patterns that appear with practice but did not remain used with later practice (e.g., the thick dotted line on Figure 2.B). This latest dynamics models exploratory behaviors, i.e. coordination patterns that are only temporarily visited during the learning process.

5 Conclusion

Provided that the behavior is assessed continuously during the entire learning process, the use of DMM allowed to qualify the dynamics of learning (i.e. appearance, disappearance or exploratory behavior) and to quantify the exploration during learning (i.e. how many patterns are emerging during a specific period of the learning process).

Acknowledgment

This project received the support of the CPER/GRR1880 Logistic, Mobility, and Numeric and FEDER XTerM.

References

- [1] K. M. Newell, D. E. Vaillancourt, “Dimensional change in motor learning, *Human Movement Science*, Vol. 20, pp. 695-715, 2001.
- [2] O. Sporns, G. M. Edelman, “Solving Bernstein’S Problem: A Proposal for the Development of Coordinated Movement by Selection”, *Child Development*, Vol. 64, pp. 960–981, 1993.
- [3] J. Komar, F. Potdevin, D. Chollet, L. Seifert, “Between exploitation and exploration of motor behaviours: unpacking the constraints-led approach to foster nonlinear learning in physical education”, *Physical Education and Sport Pedagogy*, pp. 1–13, 2019.
- [4] N. Vergne, “Drifting Markov Models with polynomials drift and applications to DNA sequences, *Statistical Applications in genetics and Molecular Biology*, Vol. 7, 2008.

DESIGNING FIELD OF PROMOTED ACTIONS FOR MOTOR LEARNING: THE USE OF VISUAL FEEDBACK IN POSTURAL REGULATION ON A MECHANICAL HORSE

Héloïse Baillet¹, Nadège Rochat¹, Jérémie Boulanger², Nicolas Benguigui³, David Leroy¹, Ludovic Seifert¹, Denis Hauw⁴ & Régis Thouvairec¹

¹CETAPS Laboratory, University of Rouen Normandie, France; ²Lille 1 University, Villeneuve d'Ascq, France; ³CESAMS laboratory, University of Caen Normandie, France; ⁴Institute of Sport Sciences, University of Lausanne, Switzerland

Correspondence: heloise.baillet1@univ-rouen.fr

Abstract. The aim of this study was to investigate how the use of a real-time visual feedback (Fb) impacts on the learning of postural coordination patterns on a mechanical horse (MH). Twelve participants followed a protocol composed of a pre-test, three learning sessions, a post-test and a retention test. During the pre-, post- and retention tests, the participants had to perform four postural coordination patterns: a spontaneous pattern, an *anti-phase* pattern, an *in-phase* pattern and an *out-of-phase* pattern. During the three learning sessions, they performed one the four above-mentioned patterns. The participants and the MH were equipped with goniometers to compute the relative phase (RP). The real time computation of the RP was used a visual Fb for the participants. After each session, interviews with the participants were performed to collect their lived experience (*i.e.*, phenomenological data). Results showed that all participants' postural coordination significantly differed between the pre- and post-test and the phenomenological data revealed that participants extensively relied on the visual Fb to develop strategies to regulate their coordination with the MH. These results suggest that the design of tasks using a visual Fb would invite participants to efficiently explore new postural strategies and stabilize prescribed coordination patterns.

Keywords. Mechanical Horse, Feedback, Postural coordination, Phenomenology, Learning

1 Introduction

This communication presents a study, which sought to investigate the effects of a real-time visual feedback (Fb) on the learning process of postural coordination patterns on a Mechanical Horse (MH). This study belongs to a broader project aiming to understand the effects of the MH in rehabilitation for brain-damaged patients. [1] have already shown that expert horseback riders have (1) a better ability to maintain the rider/horse synchronization and (2) the postural coordination differed between the riders and non-riders (*i.e.*, the riders displayed trunk oscillations in anti-phase with the MH, meaning that when the horse moves forward, the rider's trunk moves backward, while the non-riders showed out-of-phase trunk oscillations). Therefore, knowing that the efficiency of postural regulation on a MH is linked to expertise, we sought to characterize in depth the underlying processes involved in the learning of specific postural coordination patterns with the MH using a visual Fb method. In this context and as suggested by [2] we hypothesize that the use of a visual

Fb would help to stabilize the prescribed coordination pattern.

2 Method

Twelve healthy participants volunteered to participate in the study. They all had no prior experience in horseback riding. The protocol was designed as follows: participants performed a pre-test in which they had to perform four coordination patterns in function of the MH oscillation frequencies: (1) *Spontaneous* coordination (SC) without visual Fb, (2) *in-phase* coordination (0°) with Fb, (3) *out-of-phase* coordination (90°) with Fb, and (4) *anti-phase* coordination (180°) with Fb. The visual Fb was given in real time and corresponded to a blue dot projected on the wall, which became green when the participants adopted the right coordination pattern. For each coordination pattern, the oscillation frequency of the MH was set at 50% and was incremented to 70% and 80% every three minutes. After the pre-test, participants were then equally and randomly spread in four groups: (1) the control group, (2) the 0° group, (3) the 90° group and (4) the 180° group to perform three learning sessions over three weeks. A post-test similar to the pre-test was then performed. Finally, a retention test was performed four weeks later. Participants and MH were instrumented of goniometers (one placed on the riders' right hip and one on the bottom of the MH) to conduct the postural coordination measurements; then, the angular positions of each oscillator were compared to those of horse's oscillator and allowed to compute the discrete relative phase (RP) (*i.e.*, the difference of time between two similar occurrences from two oscillators). After each session, participants did a self-confrontation interview using the video recordings of the session. These interviews aimed at qualitatively documenting the participants' experience with the visual Fb and notably how they were interacting with the visual Fb to reach and stabilize the expected coordination patterns. To compare the learning of the coordination patterns between the groups two statistical analysis were conducted with a four-way 4 (Groups_(control/0°/90°/180°)) x 2 (Learning_(Pre-test/Post-test)) x 4 (Patterns_(spon/0°/90°/180°)) x 3 (Frequencies_(50%/70%/80%)) ANOVA and two-way 3 (Sessions_(S1/S2/S3)) x 3 (Frequencies_(50%/70%/80%)) ANOVA and performed with SPSS software (SPSS Statistics 21, SPSS Inc., IBM, Chicago, IL, USA).

3 Results

The analyses of postural coordination patterns showed (1) a significant modification of the trunk/horse coordination after three learning sessions. Indeed, the coordination of the twelve participants significantly changed between the pre-test and the post-test, $F(1,8)=6.5$ ($p<.05$); (2) significant differences in the coordination of all participants in function of the prescribed pattern, $F(1.3,10.3)=21.8$ ($p<.05$); (3) and an interaction effect between Learning*Patterns. Indeed, the coordination performed in post-test during the 0° and 90° patterns was different from that in pre-test, $F(1.5,11.9)=11.8$ ($p<.05$); (4) finally, during learning sessions, a significant effect of learning group was shown ($p<.05$), in particular the 0° group.

The analyses of the interviews showed that participants adopted specific exploratory strategies in order to fulfill the tasks and adapt with the MH oscillations. More precisely, participants relied on (1) multimodal embodied elements such as, muscular activity involved in the interplay between anteversion and retroversion of the plexus, the MH noise, kinesthetic information related to the sensation of the saddle; (2) the search of the adapted coordination, such as changing the position of the trunk, or standing up on the stirrups, jumping on the saddle and (3) a specific and changing use of the Fb for monitoring their activity, by impacting on the dot trajectory and color (i.e., from blue to green). These exploratory strategies were associated to more important variability of the RP and in a more salient way in the 0° and 90° coordination patterns (Figure 1).

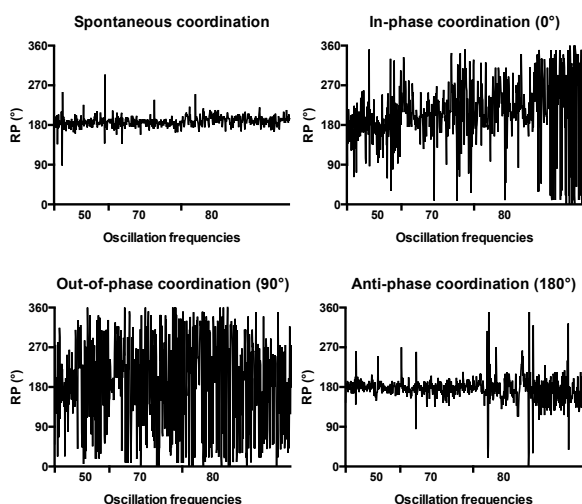


Figure 1. Depiction of four coordination patterns performed by a participant according to requested pattern (i.e., spontaneous coordination, 0° , 90° and 180°), for each oscillation frequency.

4 Discussion

This study provided insights into how learning a coordination pattern with a visual Fb is shaped by the task constraint. According to [3], the design of field of promoted actions could be achieved in rehabilitation by using MH. Notably, the prescription of various coordination patterns on the MH during learning led to exploration after only three learning sessions [4]. The combination of the data about the participants' experience and behavioral data (the RP) enabled to

understand how those coordination patterns were explored, learned and stabilized. Indeed, our results suggest that when participants were prompted to learn a pattern that differed from their spontaneous coordination, they were invited to explore more ranges of other coordination patterns. In doing so they developed exploratory strategies in which they involved their bodily engagement and cognitive activity in relation either to the MH speed, the Fb or both at the same time. Interestingly, when they stabilized a learnt pattern, the dot was no longer used as a support for inquiry but as a help for monitoring their activity (i.e., the dot was used to control that ones' position was always right). This perspective highlighted the interest of articulating behavioral and phenomenological data, whose mutual enrichment [5] provided a more holistic depiction of activity. The upcoming and practical perspective is to apply and adapt the strategies used by healthy participants to develop rehabilitation protocols for brain-damaged patients [6] by taking experience into account during sessions of adapted physical activity in a clinical context.

Acknowledgement

This project received the support of the CPER/GRR1880 Logistic, 1343 Mobility, and Numeric and FEDER XTerM.

References

- [1] Baillet H, Thouwarecq R, Vérin E, et al. Human Energy Expenditure and Postural Coordination on the Mechanical Horse. *J Mot Behav* 2017; 49: 441–457.
- [2] Faugloire E, Bardy BG, Merhi O, et al. Exploring coordination dynamics of the postural system with real-time visual feedback. *Neurosci Lett* 2005; 374: 136–141.
- [3] Bril B. Apprentissage et contexte. *Intellectica* 2002; 251–268.
- [4] Kelso JAS, Zanone PG. Coordination dynamics of learning and transfer across different effector systems. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 2002; 28: 776–797.
- [5] Depraz N, Gyemant M, Desmidt T. A First-Person Analysis Using Third-Person Data as a Generative Method: A Case Study of Surprise in Depression. *Constr Found* 2017; 12: 190–203.
- [6] Baillet H, Thouwarecq R, Vérin E, et al. Mechanical horse, a new rehabilitation method for brain-damaged patients: Focus on postural coordination. A preliminary study. *Ann Phys Rehabil Med* 2017; 60: e82.

LA FORÊT, UN STADE COMME UN AUTRE ? Appropriations des forêts de la Métropole Rouen Normandie par les coureurs.

Romain Lepillé¹ et ², Barbara Evrard¹, Michel Bussi² et Damien Féménias¹

Résumé. Cette contribution traite des mutations qui redéfinissent le sens et la place des forêts aux prismes des loisirs sportifs. Il s'agit d'interroger dans quelle mesure les usages récréatifs des urbains redéfinissent les forêts. Le terrain d'étude, la Métropole Rouen Normandie, est constituée d'un tiers de forêts. Cela la rend remarquable au regard des autres métropoles françaises. La population choisie est celle d'hyper-pratiquants de trail et de raid. Le corpus mobilisé est composé d'observation in situ, d'enquêtes quantitative (n=103) et qualitative (n=19). Après avoir dressé le profil de ces hyper-pratiquants, nous interrogerons le rapport qu'ils entretiennent avec la forêt. Est-ce pour eux un autre stade ou y a-t-il un attachement particulier à ces territoires du quotidien ? In fine, nous parlent-ils d'une nouvelle façon de fabriquer la ville à travers ces loisirs ?

Mots-clés. Forêts urbaines ; Loisirs sportifs ; Médiations territoriales ; Métropole ; Course à pied.

Introduction

Cette contribution traite des mutations qui redéfinissent le sens et la place des forêts et réaffirme ainsi une nouvelle façon d'être urbain et dès lors de vivre la ville à travers ces usages récréatifs de la « nature ». Il s'agit ici d'interroger les médiations territoriales [1] originales que produisent ces forêts. Comment ces pratiques redéfinissent-elles les territoires ? Comment ces territoires favorisent-ils l'émergence de nouvelles pratiques de loisir ?

Pour désigner ces activités physiques, récréatives, librement choisies et non motorisées, en milieu « naturel », nous choisirons le terme de loisirs sportifs entendu au sens d'*outdoor recreation*.

Si de nombreuses études traitent des sports *outdoor*

(skate, roller, etc.) [2] ou *aroundoor* [3], les travaux s'intéressant à la forêt comme terrain de jeux sont peu nombreux et portent notamment sur le massif forestier de Fontainebleau. Citons Bernard Kalaora, le musée vert [4] et Jean Corneloup, Escalades et société [5].

Ainsi, afin d'interroger en quoi les usages récréatifs des urbains redéfinissent ces forêts, nous utiliserons un triptyque entre : ville, forêt et loisirs sportifs.

La répartition des forêts urbaines de la Métropole Rouen Normandie en 2015

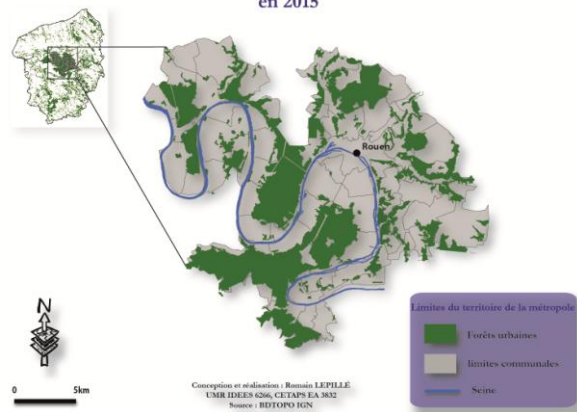


Figure 1: Les forêts urbaines de la Métropole Rouen Normandie en 2015

1 Un regard croisé sur le terrain

La Métropole Rouen Normandie, est constituée d'un tiers de forêts à 70 % publiques et majoritairement situées à l'intérieur de la métropole (CF Carte 1). Nous avons choisi de centrer cette communication sur une population d'hyper-pratiquants de trail et de raid aventure multisport. En effet, ce sont des poly-pratiquants (Course à pied, VTT, etc.) qui pratiquent à une fréquence et une intensité élevées en forêt dont ils ont une connaissance approfondie en tant que terrain d'entraînement. Ils ne sont pas représentatifs de tous les coureurs, mais d'une forme particulièrement engagée de pratique.

Pour rendre compte des médiations territoriales [1] à l'œuvre, il s'agit de multiplier les prises sur l'objet en

¹ Romain Lepillé, Barbara Evrard et Damien Féménias sont membres du laboratoire CETAPS (EA3832), Université de Rouen Normandie, Normandie Université, France E-mails: romain.lepille1@univ-rouen.fr / barbara.evrard@univ-rouen.fr / damiem.femenias@univ-rouen.fr

² Romain Lepillé et Michel Bussi Auteur3 sont membre du laboratoire IDEES (UMR6266) Université de Rouen Normandie, Normandie Université, France E-mails: romain.lepille1@univ-rouen.fr / michel.bussi@univ-rouen.fr

diversifiant le corpus mobilisé. Tout d'abord, par l'observation *in situ* et participantes qui permet d'évaluer les pratiques, la fréquentation et les usages que les individus font dans ces forêts. Si l'activité majoritaire est la promenade, on observe des individus qui à travers leurs pratiques (VTT, trail, etc.) ont des usages différents de la forêt que nous souhaitons interroger. Dans un deuxième temps nous avons réalisé deux types d'enquêtes (entretiens semi-directifs et enquête par questionnaire) lors de compétition pour faciliter le recueil. Tout d'abord nous avons mené une approche exploratoire ouverte pour chercher les variantes d'un même phénomène au travers d'entretiens semi-directifs (n=19) lors de l'hivernale du Raid Normand³. Puis nous avons voulu mesurer la distribution de cette population à travers un questionnaire (n=103) lors du raid normand estival⁴.

2 Résultats et discussion

Dans un premier temps, nous verrons pourquoi ces hyper-pratiquants sont de bons indicateurs des rapports homme-milieu. Par leur pratique intensive, ils ont une connaissance approfondie de la forêt et une connaissance fine de leur activité.

Dans un deuxième temps, nous verrons que ces hyper-pratiquants sont des hommes, urbains, âgés d'environ 40 ans (médiane : 41), et issus des PCS « cadres et professions intellectuelles supérieures » (38,3 %) et « employé » (36,7 %). Ils sont urbains et vivent en une maison avec plus de 100m² de terrain à moins de 5 minutes d'une forêt. Ils la fréquentent « à pied ou en vélo » (71 %) et pratiquent majoritairement « 2 fois par semaine et plus » (52,10 %).

Dans un troisième temps, nous chercherons à comprendre ce qu'ils nous disent du rapport ville-forêt. Elle est pour eux un terrain d'entraînement qu'ils fréquentent avec du matériel dédié : montre GPS et cardio-fréquencemètre (30,8 %), lampe Frontale, bâtons, etc. Ils s'approprient ce terrain d'entraînement en créant des parcours, selon leurs objectifs de travail, qu'ils nomment selon des considérations spatiales et personnelles (le *half-pipe* par exemple). Mais la forêt est aussi un espace sensible qui renvoie à un rapport phénoménologique vécu et éprouvé [6] au territoire qui change en fonction des saisons (odeurs, couleurs, etc.) et de la météorologie. Les termes utilisés par ces sportifs nous renseignent quant à la représentation symbolique qu'ils peuvent en avoir : *nature, bien être, dépaysement, respirer, calme, liberté, se vider la tête, se sentir ailleurs*, etc. La forêt est donc également un lieu sensible qu'ils fréquentent à la recherche d'un mieux-être.

³ L'hivernale est un trail d'orientation de 55 Km qui s'est déroulé durant la nuit du 2 au 3 février 2013.

⁴ Le raid normand est un raid d'orientation multisport (Course d'orientation, *run and bike*, trail, etc.) qui se déroule sur deux jours (27-28 juin 2013).

3 Conclusion

Au fond, pour ces urbains, la forêt n'est pas seulement un autre stade, elle représente plus qu'une piste d'entraînement. Les trois quart des sondés répondent d'ailleurs apprécier tout particulièrement cet espace de pratique, suggérant une perception qui dépasse le simple changement de décor. Il y a un attachement à ces forêts qui, du fait de leur proximité, en font des territoires du quotidien [7]. Elles leurs procurent, en plus de l'activité physique, un bien être psychologique. *In fine*, ces sportifs de nature nous parlent d'une nouvelle façon de fabriquer la ville à travers ces loisirs.

Références

- [1] Di Méo, G. (2001). Géographie sociale et territoires. Paris: Nathan université.
- [2] Lebreton, F. (2009). «Faire lieu» à travers l'urbain. Socio-anthropologie des pratiques ludo-sportives et auto-organisées de la ville. Rennes : Thèse de doctorat en Sociologie, non publiée.
- [3] Mao, P., Corneloup, J., & Bourdeau, P. (2013). L'indoor, l'underdoor et l'aroundoor, les sports de nature envahissent la ville. In S. Lefebvre, R. Roul, & J.-P. Augustin (Eds.), Les nouvelles territorialités du sport dans la ville (pp. 81–98). Québec: Presses de l'Université du Québec.
- [4] Kalaora, B. (1993). Le musée vert, radiographie du loisir en forêt. Paris: L'Harmattan. D. Cheng, "Stabilization of planar switched systems", *Systems Control Lett.* vol. 51, pp. 79-88, 2004.
- [5] Lebreton, F. (2009). «Faire lieu» à travers l'urbain. Socio-anthropologie des pratiques ludo-sportives et auto-organisées de la ville. Rennes : Thèse de doctorat en Sociologie, non publiée.
- [6] Sansot, P. (1986). Les Formes sensibles de la vie sociale. Paris: Presses Universitaires de France (PUF).
- [7] Di Méo, G. (1996). Les territoires du quotidien. Paris: L'Harmattan.

RECOMMANDATION DE PARCOURS DE VISITEURS DANS LES SITES HISTORIQUES BASÉE SUR LE Q-LEARNING

M. Messaadia, M. Sahnoun et M.-A. Benatia *

Résumé. La recommandation consiste à adapter et personnaliser la visite de l'utilisateur selon un contexte en tenant compte de ses préférences et ses contraintes. Les systèmes de recommandation ont fait leurs preuves dans le domaine de la musique, la vidéo etc. mais semblent limités dans le domaine du tourisme. Cet article aborde la recommandation des visites de sites culturels et patrimoniaux (SCP) avec les contraintes de budget et de durée de visite. Pour cela, nous proposons la technique d'apprentissage par renforcement, notamment le Q-learning qui permet de modéliser la satisfaction du visiteur et la prise en compte des contraintes de sa visite.

Mots-clés. Localisation ; Planification ; Optimisation ; Prédiction, Risque.

1 Introduction

Les systèmes de recommandation (RS) sont des outils logiciels et des techniques fournissant des suggestions sur les éléments pouvant être utiles à un utilisateur [1]. Les suggestions portent sur divers processus décisionnels, tels que les articles à acheter, la musique à écouter ou les nouvelles à lire en ligne [2]. Le but des RS est de modéliser les goûts des utilisateurs (préférences) afin de suggérer (recommander) un contenu invisible que les utilisateurs trouveraient intéressant [3]. Ainsi, Les deux tâches essentielles des (RS) [4] sont :

1. La prédiction de l'opinion de l'utilisateur (par exemple, l'évaluation) sur un ensemble d'éléments,
2. La prédiction et la recommandation d'un ensemble d'éléments corrects (intéressants, utiles) pour l'utilisateur, tâche de recommandation.

Étant donné que les activités de planification de voyages sont nettement moins courantes que par exemple l'achat d'un livre ou la visualisation d'un film, et que les éléments eux-mêmes peuvent avoir une structure beaucoup plus complexe, il est difficile d'établir des profils d'utilisateur raisonnables. De plus, un seul arrangement de voyage peut comprendre plusieurs services configurables indépendamment. En général, seuls les forfaits prédéfinis sont disponibles en ligne, par exemple « tout compris » ou « vol et hôtel ». Les systèmes de recommandation ont été

introduits avec succès dans de nombreux systèmes dans divers domaines, mais ils n'ont pas encore progressé dans des domaines complexes tels que le tourisme et la gastronomie. La question abordée dans cet article est comment modéliser un système de recommandation intelligent et personnalisé qui fonctionne dans le domaine touristique (Sites historiques) ? Comment mesurer la satisfaction sur un ensemble de recommandations et comment l'optimiser.

2 Formalisation du problème

Lors de la visite d'un ensemble de point d'intérêts (POI), il est important de mesurer la satisfaction sur l'ensemble de la visite. Comme une visite est composée de plusieurs POI qui peuvent générer chacun une satisfaction locale, il suffit parfois qu'un seul point marque une satisfaction atypique pour influencer la satisfaction globale générée pour le parcours. En effet, la satisfaction sur l'ensemble est un critère global qui ne peut être mesuré qu'à la fin d'un ensemble d'actions. Par exemple : la satisfaction sur le parcours d'un visiteur qui ne peut visiter qu'un nombre limité de POI sous contraintes de budget et de temps limités, peut avoir un bon score si le visiteur arrive à exécuter son plan prévisionnel de visite, il peut être aussi déçu s'il se rend compte qu'il a mal planifié son parcours et qu'il est passé à coté d'œuvres intéressantes pour lui. En effet, cette fonction de satisfaction dépend de deux aspects :

- L'ensemble des points d'intérêts qui risquent de plaire au visiteur (top-K items) dépend de plusieurs paramètres tels que i) l'ordonnement des visites de ces POI ii) les positions des POI, iii) le coût et le temps nécessaire pour chaque visite. Sachant que chaque POI regroupe les données relatives au point d'intérêt telles que : le type de l'œuvre, le maître d'ouvrage, l'époque, le style, la notoriété.
- Le profil de la personne, qui inclut son budget et le temps dont il dispose ainsi que ses préférences et son humeur.
- Le contexte représente l'environnement dans lequel évolue le visiteur. Il dépend des données météorologiques, le nombre de visiteurs sur le site et leurs comportements, les guides, les accompagnateurs, etc.

*M.Messaadia, M. Sahnoun, M.-A. Benatia sont membres du laboratoire LINEACT/CESI, Campus Rouen, France. E-mails :mmessaadia@cesi.fr msahnoun@cesi.fr, mabenatia@cesi.fr

La satisfaction est une fonction non linéaire qui dépend de différents paramètres :

$$\Psi = f_c(\zeta_c) * f_i(\zeta_i) * f_u(\zeta_u)$$

Où :

- ζ_c : représente le vecteur des paramètres liés au contexte
- ζ_i : représente le vecteur des paramètres liés aux items (les points d'intérêts)
- ζ_u : représente le vecteur des paramètres liés à l'utilisateur : son profil et son vécu pour chaque point d'intérêt.

Généralement un visiteur averti, sélectionne un ensemble de points d'intérêt à visiter. Toutefois, il peut dévier de son plan prévisionnel de visite s'il trouve son intérêt ailleurs. La satisfaction locale générée par le visiteur sur un POI a un impact sur le choix et la satisfaction du prochain POI à recommander. Le plan prévisionnel des visites peut être affecté par ces fonctions de satisfaction locale et risque de changer donc au cours de la visite. Il n'est pas évident de faire le lien entre les fonctions de satisfaction locale et la fonction de satisfaction globale (Ψ) surtout que cette dernière ne peut être calculée qu'à la fin du parcours. Il sera donc intéressant de trouver un moyen de définir le meilleur prochain POI qui augmentera la fonction Ψ . D'un autre côté, les techniques d'apprentissage par renforcement notamment le Q-learning permettent de définir une séquence d'état action qui mèneront un système d'un état initial vers un état final connu. Toutefois, cette méthode ne garantit pas l'optimalité de la séquence mais elle garantit sa faisabilité.

3 Modélisation

La fonction Ψ peut être utilisée comme une fonction objectif qu'on doit maximiser pour une séquence donnée. Afin d'appliquer le Q-learning il faut définir les états de notre système et les actions qui permettent de passer d'un état à un autre.

- **État** : un état est défini comme étant la visite d'un POI. Cet état commence dès le départ vers ce POI et se termine une fois qu'on a décidé de visiter un autre POI ou de clôturer la visite. Les paramètres d'un état permettent de calculer un coût et un temps pour chaque état. Ces paramètres dépendent de l'état précédent. La question qu'on se pose : est-ce que le changement d'autres paramètres de l'état (humeur de l'utilisateur, changement dans l'environnement, etc.) représente un changement d'état ou pas?. Nous pouvons émettre deux possibilités :

1. le changement d'état ne peut se faire que si le visiteur quitte Géographiquement le POI .
2. le changement d'état peut se faire si un paramètre de l'état venait à changer.

- **Action** : c'est le passage d'un POI à un autre dans le cas (1) et le changement d'un paramètre important dans le cas (2). Dans ce dernier cas, nous distinguons deux types d'actions : i) des actions volontaires telles que le changement de la position, ii) des actions involontaires telle que l'arrivée d'un grand nombre de visiteurs au même moment et au même endroit, ou les conditions météorologique deviennent défavorables.

le passage d'un POI vers un autre sera guidé par un algorithme de Q-learning. la mise à jour des poids Q est assurée par la fonction suivante :

$$Q(POI_t, a_t) \leftarrow Q(POI_t, a_t) + \alpha \times [r + \gamma \max_{a_{t+1}} Q(POI_{t+1}, a_{t+1}) - Q(POI_t, a_t)]$$

Pour chaque séquence on calcule en même temps un coup globale qui est la somme des coûts de chaque état, et un temps global qui est la somme des temps de toutes les actions dans une séquence de POI. Une séquence est considérée comme non aboutissante si elle dépasse le temps ou le budget alloué au départ.

Conclusion

Dans cet article nous proposons une nouvelle approche pour la recommandation de visite de SCP. Notre contribution vise à modéliser la satisfaction tout en prenant en compte la durée et le coût de la visite ainsi que l'expérience visiteur. Cette approche sera implémentée dans le cadre du projet Vista-AR.

Remerciements

Cette étude est réalisée dans le cadre du projet VISTA-AR, financé par l'union Européenne (EU) via le programme Interreg France(Manche)Angleterre et pilotée par l'université d'Exeter que nous remercions. Nos remerciements s'adressent également à nos différents partenaires..

Références

- [1] P. Resnick and H. R. Varian, "Recommender systems," *Communications of the ACM*, vol. 40, no. 3, pp. 56–58, 1997.
- [2] T. Mahmood and F. Ricci, "Improving recommender systems with adaptive conversational strategies," in *Proceedings of the 20th ACM conference on Hypertext and hypermedia*, pp. 73–82, ACM, 2009.
- [3] X. Amatriain, J. M. Pujol, N. Tintarev, and N. Oliver, "Rate it again : increasing recommendation accuracy by user re-rating," in *Proceedings of the third ACM conference on Recommender systems*, pp. 173–180, ACM, 2009.
- [4] A. Gunawardana and G. Shani, "A survey of accuracy evaluation metrics of recommendation tasks," *Journal of Machine Learning Research*, vol. 10, no. Dec, pp. 2935–2962, 2009.
- [5] J. Bobadilla, F. Ortega, A. Hernando, and A. Gutiérrez, "Recommender systems survey," *Knowledge-based systems*, vol. 46, pp. 109–132, 2013.

TRANSFER OF ROUTE-FINDING SKILL IN CLIMBING: WHY ARE CONSTANT LEARNING CONDITIONS INSUFFICIENT?

Guillaume Hacques¹, John Komar² and Ludovic Seifert¹

Abstract. The aim of this study was to examine the effect of constant practice on skill transfer. Seven climbers followed a learning protocol (i.e., ten sessions composed of three ascents) in a climbing task. Effects of practice were assessed through three test sessions (i.e., a pre-, a post and a retention test) composed of 4 routes: the route climbed during learning sessions and three new routes with either increased distance between handholds, new handholds shape or changed handholds orientation. Geometric index of entropy was measured to assess route-finding skill on the four routes on pre-, post and retention test. Results revealed that route-finding skill could be transferred to the route with increased distances between handholds but not to the two other routes. In conclusion, learners were able to transfer their skill to new routes only if the environment was composed of known properties that did not required perceptual attunement.

Keywords. Climbing, motor learning, complexity, perception, transfer.

1 Introduction

Learning conditions may be conceived as a field of promoted action [1]: instructions, objects or goals offered during practice may encourage or inhibit some actions in the aim of enhancing learners action capabilities. In the case of climbing, performers must be able to perceive a chain of movements to limit pauses during ascents that may become detrimental to safety due to the induced fatigue. Therefore, route setters should design routes that promote a rich landscape of affordances (i.e., various action opportunities [2]) to develop route-finding skill [3]. Route-finding skill would reflect how individuals perceive functionally their environment.

Perception of affordances requires perceptual learning [4]. Firstly, climbers must attune their perceptual system to the most useful informational variables of their environment, named as *education of attention*. Secondly, they must calibrate their action by scaling the information in relation to their action capabilities. The design of field of

promoted actions should develop awareness to key features of the climbing wall so that climbers improve their route-finding skill.

This study investigates to what extent the functional perception developed during the extensive practice of a climbing route can be transferred to new routes. We hypothesize that climbers would transfer their route-finding skill to a new route if the changes only require to re-calibrate their action (e.g., modified distance between handholds) whereas changes concerning either the hand grasping pattern (e.g., new handholds shape) or the body orientation (e.g., turned handholds) would limit the skill transfer as the climbers have to be attuned to new informational variables.

2 Method

2.1 Protocol

Seven participants (mean age 18,4 \pm 0,8 years; mean height of 167,7 \pm 5,3 cm; mean weight of 57,4 \pm 5,7 kg; mean arm-span 165,2 \pm 7,6 cm) attended 13 climbing sessions. Ten of them were learning sessions during which participants always climbed the same route. They had three trials per learning session and their task-goal was to “find the way to climb the route as fluently as possible, avoiding pauses and saccades”. After each learning session, they received a feedback with their hip trajectories and fluency scores. They also attended three test sessions (i.e., a pre-, a post- and a retention test). During the test sessions, they had to climb 4 routes in a random order. One of them was the route they climbed during the learning sessions. The three others were transfer routes composed of the same number of handholds (i.e., 16), but they differed on half of the handholds either on (1) the distance between handholds (i.e., distance was increased 20 cm), (2) the shape of the hand holds or (3) the orientation of the handholds (i.e., they were turned 90°).

2.2 Data collection

On all trials of the protocol, participants wore a light on their harness and ascents were filmed with a camera capturing the entire route. The harness’s light was tracked on Kinovea 0.8.25 © to acquire the hip trajectory coordinates.

¹ Guillaume Hacques and Ludovic Seifert are with CETAPS laboratory EA3832 - Department of sport sciences, University of Rouen Normandy, France. E-mails: guillaume.hacques@univ-rouen.fr, ludovic.seifert@univ-rouen.fr

² John Komar is with National Institute of Education, Nanyang Technological University, 639798 Singapore, Republic of Singapore. E-mail: john.komar@nie.edu.sg

2.3 Data treatment

Route-finding skill can be assessed with the geometric index of entropy (GIE) that reflects the complexity of the hip trajectory [3]. Using the length of the hip trajectory (L) and the perimeter of the convex hull around the trajectory (c), the GIE was calculated with the following equation: $H = \log 2L/c$, for each ascent in the test sessions.

2.4 Statistical analysis

A two-way repeated measures ANOVA was performed to assess the routes effects (4 routes to climb) and the learning effects (3 tests sessions) on the GIE scores. Sphericity was verified with the Mauchly test. When the assumption of sphericity was not met, the significance of F-ratios were adjusted according to the Greenhouse-Geisser procedure. Planned simple contrast tests were used to compare the changes in GIE scores on the control route on the test sessions to the changes in performance on the three other routes.

3 Results

The two-way repeated measures ANOVA revealed a significant effect of route design ($F_{3,18}=13.88$; $\eta_p^2=0.698$; $p<0.001$), of test session ($F_{1,08,6,47}=21.55$; $\eta_p^2=0.782$; $p=0.003$) and an interaction effect of the two factors ($F_{6,36}=7.71$; $\eta_p^2=0.562$; $p<0.001$).

Planned contrast tests revealed that following the learning sessions, participants better improved their GIE score on the practiced route on post-test and retention test than on the routes where the hand holds shape or orientation was modified (Figure 1). No significant effects were observed for the route with changes in the handholds distance.

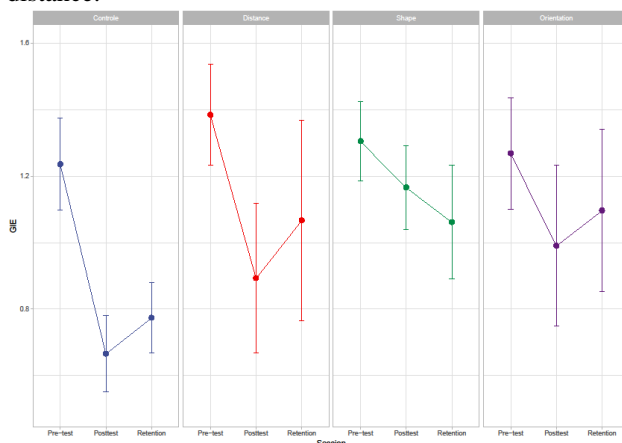


Figure 1: Geometric index of entropy scores on the 4 routes performed on the three test sessions

4 Discussion

Although the extensive practice of a climbing routes allowed participants to learn to chain efficiently their

movements on the practiced route, they couldn't transfer their route-finding skill to all the routes presenting novelties: they were able to transfer their route-finding skill to the route for which the distance between holds was increased but not to the two other routes (i.e., those with new handholds' shape or turned handholds).

These results may be explained by the perceptual adaptations needed to perceive functionally hold shape and orientation. The positive transfer of route-finding skill to changes of distance can be explained by the only request of using more strength or more arm/leg extension to reach further away, without changing grasping pattern or body posture. Thus, climbers only needed to recalibrate their actions to the new property (i.e., distance between holds) of the route. On the two other routes, participants needed to either change their grasping pattern or their body orientation to use efficiently the handholds. Thus, participants had to be attuned to new properties of their environment (i.e., hold shape and orientation) that would specify actions and transfer of attunement may be requested to perform fluently [5].

5 Conclusion

In the case of constant practice, the poverty of the environmental features encountered in the field of promoted actions offered to climbers is not enough to develop a route-finding skill that can be transferred to novel routes. Only changes that require re-calibration of the climbing actions are perceived functionally by the learners. The attunement to hold shape and orientation might be promoted through variable practice.

Acknowledgment

This project received the support of the CPER/GRR1880 Logistic, Mobility, and Numeric and FEDER XTerM. This project also received the funding of the French National Agency of Research (ID: ANR-17-CE38-0006 DynACEV).

References

- [1] Reed, E. S., & Bril, B. (1996). The primacy of action in development. In M. L. Latash & M. T. Turvey (Eds.), *Dexterity and its development* (pp. 431–451). L. Erlbaum Associates.
- [2] Stoffregen, T. A. (2003). Affordances as Properties of the Animal-Environment System. *Ecological Psychology*, 15(2), 115–134.
- [3] Cordier, P., France, M. M., Pailhous, J., & Bolon, P. (1994). Entropy as a global variable of the learning process. *Human Movement Science*, 13(6), 745–763.
- [4] Jacobs, D. M., & Michaels, C. F. (2007). Direct Learning. *Ecological Psychology*, 19(4), 321–349.
- [5] Seifert, L., Boulanger, J., Orth, D., & Davids, K. (2015). Environmental Design Shapes Perceptual-motor Exploration, Learning, and Transfer in Climbing. *Frontiers in Psychology*, 6, 1819.

How tool appropriation is shaped by the environment: A study about instrumented activity in trail running

Nadège Rochat¹, Ludovic Seifert¹, Brice Guignard¹ and Denis Hauw²

Abstract. The aim of this study was to analyze the dynamics of the appropriation of carrying systems in trail running. The runners ran a 3-kilometer trail-running loop, equipped with inertial sensors to quantify both their vertical accelerations and those of the carrying systems. After the trials, runners' experiences (i.e., phenomenological data) were collected with interviews. Results showed specific issues related to the carrying system, whose temporal emergence revealed the interplay between the tool's transparency (i.e., when runners did not provide any account of the carrying system) and opacity (i.e., when runners mentioned perceptions of disturbing elements of the system). The computing of the vertical accelerations and the acceleration couplings between the carrying system and the runners showed congruence between the runners' experiences and the behavioral data in terms of the system's vertical accelerations and the couplings between the runners' and the backpack accelerations. Our results demonstrated that the appropriation process was nonlinear, fundamentally situated, and made up of the carrying system's fluctuating phases of transparency and opacity. The mutual enrichment of the phenomenological and behavioral data emphasizes that tool appropriation is a complex process in which cognition, perception and action are coupled.

Keywords. enaction, phenomenology, appropriation, trail running

1 Introduction

Most of our daily activities entail the appropriation of external tools for extending the range of our actions and/or perceptions. To characterize the appropriation process, we propose an activity-centered approach, which refers to the analysis of the coupling between the actor and his/her environment. Previous studies in sport sciences have already shown the interest of crossing behavioral indicators with phenomenological data (e.g., [1]) for a holistic understanding of activity; they also raised the question of identifying the relevant macroscopic variables that capture the complexity of human activity. This conception is particularly relevant for the analysis of instrumented activity in trail running, as runners need to find an efficient way to carry their

equipment to sustain their logistical autonomy in race and training situations. However, the perceived backpack bouncing is a salient, recurrent and problematic issue in this sport [3] and we sought to gain greater insight into this phenomenon through the articulation of phenomenological and behavioral data. Therefore the aim of this study was to characterize trail runners' interactions with different carrying system conditions in an ecological context of use.

2 Method

Nine experienced trail runners volunteered to participate in the study. They were asked to run at a regular pace a 3-kilometer route using five carrying conditions (they changed equipment at the end of each loop). The route was marked and featured several terrain conditions typical of trail running and was split in two sections (i.e., section 1, a flat, asphalt road and section 2, a hilly single track in the forest). Runners were instrumented with four wireless inertial sensors (IMU): one was placed on the hip and three on the carrying system. The behavioral data treatment consisted of computing the maximal and minimal values of acceleration peaks to assess the low-order parameters of behavior. Next, we used the vector coding technique [4] to document the high-order parameters of behavior (i.e., acceleration couplings between the hip and one of the sensors positioned on the carrying system). Four coordination modes were categorized: in-phase, anti-phase, hip in advance or either left strap, right strap or backpack in advance. In addition, just after the field protocol, interviews were conducted with the participants to collect phenomenological data; then in-depth analyses of the interviews we conducted to identify typical concerns associated with each carrying condition, and especially situate their temporal emergence and recurrence during the trials.

2 Results

The phenomenological data highlighted two main findings: (1) the identification of disturbing concerns that are specifically linked to the structural characteristics of the carrying systems and (2) a well-defined temporal layout of these disturbing concerns showing that they are more salient in the first section of the route (i.e., the flat and easy section). The results of the behavioral parameters showed that (1) the low-order parameters of coordination

¹ Nadège Rochat, Ludovic Seifert and Brice Guignard are with CETAPS Laboratory - EA 3832, Faculty of Sports Sciences, University of Rouen, Rouen, France. Emails: nadege.rochat2@univ-rouen.fr, ludovic.seifert@univ-rouen.fr, brice.guignard@univ-rouen.fr

² Denis Hauw is with Institute of Sport Sciences, University of Lausanne, Lausanne, Switzerland. E-mail: denis.hauw@unil.ch

matches the runners' experience by reporting that the most appreciated carrying condition (i.e., a vest with the bottles on the hips) was also the condition that significantly exhibited the lowest acceleration values. Conversely, the less appreciated condition (i.e., a backpack with the bottles on the shoulder straps) displayed the significantly higher acceleration values. (2) The high-order parameters reported that the less appreciated condition had an anti-phase relationship of the hip/carrying system coupling, while the hip/carrying system coupling of the most appreciated condition showed an in-phase relationship. In addition, for both low- and high-order parameters, statistical analyses reported a "section effect", suggesting that the vertical acceleration were significantly higher in the first section of the route (i.e., a flat, asphalt road).

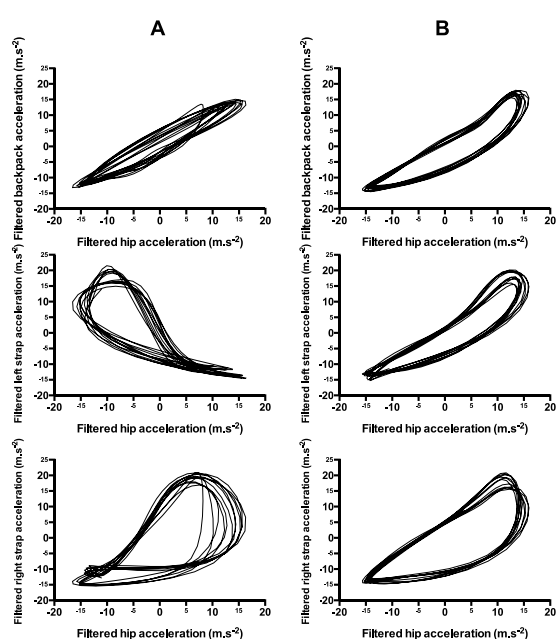


Figure 1: Hip/backpack, hip/left strap and hip/right strap acceleration plots for C3 and C2. For C3 (i.e., the condition perceived as the most uncomfortable), the hip/backpack couplings show an in-phase relationship, while the hip/left strap couplings show an anti-phase relationship (panel A). The hip/right strap couplings also display a general in-phase signature, punctuated by regular passages in the hip coordination pattern. In contrast, C2 (i.e., the most comfortable condition) shows a high in-phase hip/backpack and hip/left strap relationship and, to a lesser extent, hip/right strap relationship (panel B).

3 Discussion

Results showed congruence between runners' experience (i.e., perceived comfort of the carrying system) and behavioral data in terms of (a) vertical oscillations of the system (i.e., low-order parameters) and (b) the couplings between the runners and the backpack accelerations (i.e., high-order parameters), with a converging evidence of

the two types of data. Indeed the phenomenological data enabled us to identify the themes associated to comfort and discomfort induced by each carrying system and they emerge in specific environmental settings (i.e., section 1 of the route). They also enabled us to select the relevant third-person variable to investigate, which was the vertical accelerations of both the runner and carrying system at the level of (i) the low-order parameters characterized by the acceleration extremums and (ii) the high-order parameters characterized by the acceleration couplings). This data crossing sought to document a similar aspect (i.e., the bouncing) but revealed differently according to the type of data. Taken together, these results suggested that phenomenological data could be used to select and sample the relevant dependent variable to investigate for a mutual enrichment about a specific phenomenon emerging from activity. Furthermore, the interplay of such phenomenological and behavioral data helped to interpret the perception-action couplings relating to the hip-backpack coupling time-series during running. They also provided new perspectives for an enactive and phenomenological approach of instrumented activity in sport. Finally, our results suggested that backpack bouncing is a significant source of discomfort that manufacturers should take into account during the design phase to develop carrying systems that enable to run efficiently with a load.

Acknowledgment

The research for this work was supported, by a grant from the ANRT (Association Nationale de Recherche et Technologie) under a CIFRE agreement (Industrial Convention of Learning by Research) with the Raidlight Company and Swiss universities. This project received the support of the CPER/GRR1880 Logistic, 1343 Mobility, and Numeric and FEDER XTerM.

References

- [1] C. Sève, A. Nordez, G. Poizat, and J. Saury, "Performance analysis in sport: Contributions from a joint analysis of athletes' experience and biomechanical indicators", *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, vol. 25, pp. 576-584, 2013.
- [2] N. Gal-Petitfaux, D. Adé, G. Poizat, and L. Seifert, "L'intégration de données biomécaniques et d'expérience pour comprendre l'activité de nageurs élités et concevoir un dispositif d'évaluation", *Le travail humain*, vol. 76, pp. 257-282, 2013.
- [3] N. Rochat, D. Hauw, and L. Seifert, "Enactments and the design of trail running equipment: An example of carrying systems", *Applied Ergonomics*, In press, 2018.
- [4] R. Needham, R. Naemi, and N. Chockalingam, "Quantifying lumbar-pelvis coordination during gait using a modified vector coding technique", *Journal of Biomechanics*, vol. 47, pp. 1020-1026, 2014

INTER-CYCLIC MOVEMENT VARIABILITY OF COMPLEX SYSTEMS: AN INVESTIGATION IN HUMAN SWIMMING

Brice Guignard¹, and Ludovic Seifert¹

Abstract. The aim of this study was to understand the behavioral adaptability when environmental constraint was manipulated. In swimming, the continuous and dynamic individual–environment coupling offers a suitable vehicle to understand how aquatic environment can promote effective actions. We manipulated the fluid flow with a trial performed in a flume in comparison to a classic swimming pool, at maximal speed. Five national-level male swimmers performed a bout in a 50 m swimming pool and a trial in the flume. We analyzed the inter-cyclic behavioral variability of the left hand/lower-arm coupling by computing the Normalized Root Mean Square of angle-angle plots. Significant differences were observed between environments during the catch and push phases suggesting that the fluid flow constrains swimmers to adopt a specific movement pattern to remain at the same position in the flume.

Keywords. Swimming, Coordination, Inertial sensors, Ecological dynamics, Constraints, Inter-cyclic variability.

1 Introduction

In competitive swimming, the aquatic environment is both a support to propulsion and a resistance to move forward, due to its high density and viscosity [1]. From a complex systems perspective, this means that swimmers cannot be dissociated from their aquatic environment, since behavior emerges from both the characteristics inherent to the organism itself and the environment in which the movement is performed. More precisely, a set of continually nested and interacting *constraints* (organismic, environmental and linked the task) channels the qualitative dynamics of movement [2]. Identifying and manipulating key constraints is a way to test the adaptive nature of behavior as a function of perturbation. Therefore, sport designers and scientists manipulate constraints to *favor* or *restrict* emerging behaviors: they design *fields of promoted actions*, i.e., a field in which resources lead individuals to improve their action capabilities. However, adaptability does not signify that experts display an optimal motor pattern to act appropriately in a given situation: they may display *functional*

variability necessary to satisfy the task goal [3]. By using a swimming flume (where water comes frontally at the participants), we were able to perform a direct manipulation of the fluid flow (environmental constraint) in order to test for swimmer’s behavioral adaptability. The flume was already considered as more constraining than swimming in the pool for a similar effort [4]. We therefore hypothesized that swimming in the flume would ensure less behavioral variability regarding upper limbs coordination, due to the dynamic backward flow.

2 Methods

Five Italian national-level male swimmers; mean \pm SD age: 19.2 ± 1.64 years, height: 187.8 ± 4.02 cm, mass: 78.60 ± 9.81 kg) were volunteered to participate.

2.1 Data collection and data treatment

Swimmers performed (i) a single 50 m bout at maximal speed in a classic pool (i.e., 1.77 ± 0.01 m/s) and (ii) the highest swimming speed they can sustain on a minimum of forty stroke cycles (i.e., 1.32 ± 0.04 m/s) in a straight swimming flume (CONI, Italy). All participants were equipped with five Hikob Fox inertial sensors (IMUs), positioned on the dorsal sides of the hands and the lower arms, and at the sacral level. Each IMU was waterproofed, and registered the duration of stroke phases and the angle of each segment relative to the vertical with a sampling frequency of 100 Hz.

On Matlab R2014a (The MathWorks, Inc. Natick, MA, USA), segmental angles were computed for the left body side. Coupling the hand with the lower arm angles led to the computation of angle-angle plots over ten stroke cycles and then to the determination of inter-cyclic variability of the plots’ trajectory over the stroke phase durations [5]. Normalized RMS (NoRMS, in %) is computed to examine the consistency of these non-linear patterns of coordination, where A and B denote the two angles under consideration, R is the resultant excursion of the mean angle-angle curve over the duration under interest:

$$\text{NoRMS} = 100 \sum_{j=1}^k \sqrt{\sum_{i=1}^n (\bar{x}_A - x_{Ai})^2 + (\bar{x}_B - x_{Bi})^2} / n \sqrt{kR}$$

Beginnings of each stroke cycle and phases (i.e., catch, pull, push and recovery; [6]) were determined using a

¹ B. Guignard and L. Seifert are with CETAPS laboratory, University of Rouen Normandy, Mont Saint Aignan, France. E-mails: brice.guignard@univ-rouen.fr, ludovic.seifert@univ-rouen.fr

method based on longitudinal acceleration data and horizontal gyrometric data of the lower arms [4].

Friedman ANOVA on the ranks was computed to test for differences of NoRMS between the stroke phases. All effects are reported at a .05 level of significance.

3 Results

Trajectories of the angle-angle plots displayed lower amplitude in the flume, but also low spatial dissociations between segments (synchronized extensions; Figure 1).

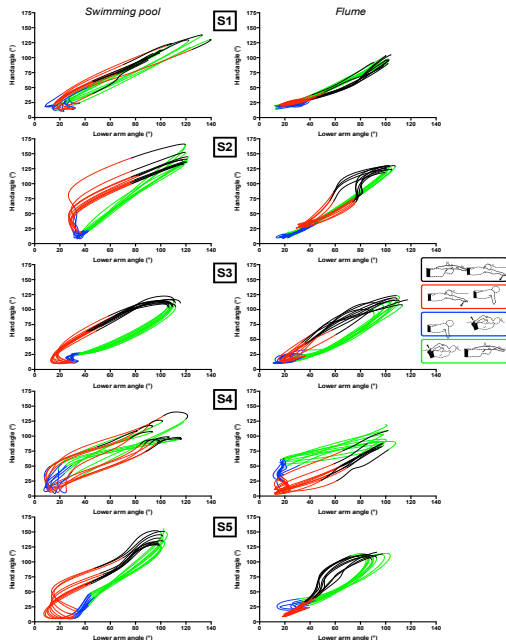


Figure 1: Angle-angle plots for each swimmer of the trial performed in the swimming pool (left) and in the flume (right). Catch, pull, push and recovery are labeled in black, red, blue and green, respectively.

The values of NoRMS significantly changed over the stroke phases in both environments ($\chi^2(3)=12.12$, $p=0.001$ and $\chi^2(3)=8.63$, $p=0.002$ in pool and flume, respectively), Table 1. These values were notably strongly reduced in the flume during catch and glide, pull and push, with a less inter-cyclic variability among all swimmers.

4 Discussion

A significant impact of the fluid flow was observed on the motor organization of the upper-limbs, notably a low inter-cyclic variability suggested that the catch phase was highly constrained by the backward fluid flow in the flume [4]. The highest levels of variability were observed during the push, appearing as the shortest stroke phase, and hence the most difficult to properly replicate in both environments.

Inter-cyclic variability was systematically lower in the flume for all underwater phases of the stroke, just as the

inter-subject variability. This reveals that among experts, the flume favor the emergence of synchronized actions of the hand and forearm moving backward to propel the body forward [7]. Precisely, a straighter coordination pattern is observed in the flume, leading to the management of a restricted number of search strategies through the aquatic environment [4], reflecting the greater complexity of swimming in a flume compared with a pool.

Table 1: NoRMS values (%) in both environments

		Cycle	Catch	Pull	Push	Recovery
S1	Pool	12.77	48.29	34.81	114.20	10.20
S2		5.52	18.09	10.92	43.43	2.45
S3		3.03	7.30	9.42	21.85	2.93
S4		10.95	89.65	17.87	25.53	8.69
S5		5.29	13.76	18.01	20.84	2.86
Mean ±SD		7.51 ±4.14	35.42 ±34.16	18.21 ±10.08	45.17 ±39.65	5.43 ±3.71
S1	Flume	6.99	10.13	7.48	9.55	5.88
S2		6.17	13.17	11.14	10.68	2.61
S3		8.77	11.44	15.05	39.01	7.97
S4		10.03	23.90	12.76	14.30	11.91
S5		9.39	10.39	10.41	44.91	10.39
Mean ±SD		8.27 ±1.63	13.81 ±5.77	11.37 ±2.81	23.69 ±16.90	7.75 ±3.68

Nevertheless, these changes in coordination were necessary for swimmers to remain at the same position during the trial, just as if they had to progress in a river or in the sea: undergoing a dynamic fluid flow impacts the body alignment and hand pressure, requiring continuous body acceleration to compensate for the drag of water. Swimming in the flume should therefore be considered as a field of promoted actions (i.e., straighter coordination with low variability): training in this environment would be suitable for open water swimmers.

References

- [1] M. W. Denny, Air and Water. The Biology and Physics of Life's Media. Princeton University Press, 1993.
- [2] K. M. Newell, "Constraints on the development of coordination," Martinus Nijhoff Publishers, pp. 341-60, 1986.
- [3] P. S. Glazier, and K. Davids, "On analysing and interpreting variability in motor output," J Sci Med Sport, vol. 12, pp. 2-3, 2009.
- [4] B. Guignard, A. Rouard, D. Chollet, et al., "Perception and action in swimming: Effects of aquatic environment on upper limb inter-segmental coordination," Hum Mov Sci, vol. 55, pp. 240-254, 2017.
- [5] B. Sidaway, G. Heise, and B. Schoenfelder, "Quantifying the variability of angle-angle plots," J Hum Mov Stud, vol. 29, pp. 181-197, 1995.
- [6] D. Chollet, S. Chabies, and J. C. Chatard, "A new index of coordination for the crawl: Description and usefulness," Int J Sports Med, vol. 20, pp. 54-59, 2000.
- [7] H. G. Espinosa, N. B. Nordsborg, and D. V. Thiel, "Front crawl swimming analysis using accelerometers: A preliminary comparison between pool and flume," Proced Eng, vol. 112, pp. 497-501, 2015.

Déplacements et complexité

DEUX METHODOLOGIES POUR ANALYSER LES MOBILITES A PARTIR DES DONNEES DE TELEPHONIE MOBILE

Françoise LUCCHINI, Olivier GILLET, Bernard ELISSALDE, Lény GRASSOT, Julien BAUDRY et Armelle COUILLET¹²³

Résumé. Les données de téléphonie mobile offrent un potentiel d'exploration du fonctionnement de la ville en mouvement. Les deux méthodes présentées permettent de saisir les mouvements des usagers de la téléphonie mobile et plus globalement d'approcher les pulsations urbaines : par la variabilité des concentrations selon les moments et selon les lieux – approche surfacique –, et par les graphes de mobilités -approche réticulaire-. Ces deux méthodes contribuent à une meilleure compréhension des mobilités sur l'espace urbain.

Mots-clés. Téléphonie mobile, Mobilité, Données numériques, espace urbain, événements

1 Introduction

L'utilisation des données de téléphonie mobile permet, après traitements, d'approcher la variabilité de la présence des populations circulant sur un territoire (cf. [1]) selon différents intervalles de temps. En permettant aux chercheurs d'opérer des découpages fins de l'espace et du temps, les données de téléphonie mobile portent un enjeu majeur pour renouveler les approches de l'urbain : celui de saisir la ville en mouvement. Les espaces urbains offrent un cadre géographique dont la configuration prédispose à une maximisation de la circulation des individus et des échanges économiques, sociaux et culturels. Plusieurs usages et plusieurs temporalités s'y croisent nécessairement. Cette « ville éphémère », fondée sur les relations et les interactions occasionnelles de convivialité et de sociabilité, est animée de pulsations, correspondant à la position variable des activités et des individus (cf. [2]). Ces pulsations urbaines peuvent être détectées à partir des concentrations temporaires de populations dans les différentes parties de l'espace urbain connues par les données de téléphonie mobile. Dans un environnement urbain, qui peut être le cadre d'événements de nature diverses, les mobilités peuvent alors être mesurées de deux manières. D'un côté, on peut observer les variations de stocks, correspondant aux concentrations d'usagers dans les différentes parties de l'espace urbain au cours du temps. De l'autre, on peut révéler les trajectoires collectives

préférentielles formées par le regroupement de mouvements individuels similaires dans la ville.

2 Espace urbain, mobilités et événements

A partir de l'information fournie par les données géolocalisées et anonymisées de téléphonie mobile mises à disposition par l'opérateur Orange, nous étudierons en particulier la métropole Rouen Normandie –, dans laquelle se sont déroulés des événements ⁴ majeurs comme l'Armada de Rouen (édition 2008). Nous souhaitons ici mettre en valeur l'intérêt des données de téléphonie mobile pour identifier de façon originale les rythmes de la ville, notamment sous l'angle de temporalités multiples qui permettent de saisir la vie urbaine entre rythmes routiniers et événements éphémères. En se fondant non pas sur le caractère pérenne des fonctions des différents quartiers urbains, mais plutôt sur la capacité première de certains quartiers à être des lieux de rassemblement, l'étude des mobilités des usagers de téléphones portables vise en ce sens à révéler les pulsations habituelles de la marche routinière de la ville, tout comme les modifications que peut introduire dans cette routine le déroulement de manifestations populaires de grande ampleur. En utilisant ces données nous souhaitons tester l'hypothèse d'une grande variabilité dans le temps et dans l'espace des concentrations et des mouvements de foule à l'occasion de grands événements. Les comportements des usagers se déploient dans un environnement urbain présentant des contraintes de mobilité pouvant conditionner des choix potentiels d'usages, de mobilité ou d'immobilité. Le temps d'une grande manifestation attirant un nombreux public, les pulsations habituelles de la ville se trouvent bouleversées. Cette modification introduite par le déroulement d'un événement remet en question l'inégale attractivité des quartiers et le caractère routinier de la vie urbaine. En matière de mouvements, nous tenterons de vérifier la tendance à une plus ou moins forte accentuation de la variabilité mesurée en fonction du type de méthodologies utilisées (approches surfaciques ou graphes réticulaires).

¹ Auteur1, Auteur2, Auteur3 et Auteur6 sont membres de l'UMR CNRS IDEES, Rouen. E-mails : francoise.lucchini@univ-rouen.fr, olivier.gillet@univ-rouen.fr, bernard.elissalde@univ-rouen.fr, armelle.couillet@cnrs.fr

² Auteur4 est membre de l'UMR CNRS LAET, Lyon. E-mail : l.grassot@gmail.com

³ Auteur5 est membre de laboratoire LITIS, Le Havre. E-mail : julien.baudry@univ-lehavre.fr

⁴ Nous nous appuyons sur la définition d'un événement introduite par les recherches sur la détection et le suivi des sujets (Topic Detection and Tracking (TDT), c'est-à-dire un fait social réel qui se produit dans un lieu géographique donné et sur une certaine période de temps

3 Analyser les stocks, analyser les flux

Pour apprécier les mobilités des individus, nous mobiliserons ici deux compréhensions des mouvements de ces usagers de la téléphonie mobile. La première approche consiste à mesurer les « mobilités de stocks » à partir des concentrations éphémères d'individus et de leurs déplacements dans l'espace urbain au cours du temps. La seconde approche propose de retracer les « mobilités de flux », en dessinant les trajectoires collectives préférentielles d'individus effectuant les mêmes mouvements dans l'espace urbain au cours du temps. Ces deux méthodologies mesurant les mobilités des individus dans la ville apportent un éclairage sensiblement différent sur leurs mouvements et plus généralement sur les pulsations urbaines.

3.1 Saisir les mouvements par la variabilité des concentrations

À partir des zones de couverture inégale des antennes de téléphonie mobile, nous avons choisi de représenter leurs aires de captage sous forme de polygones de Voronoï (cf. [3, 4, 5]). Ce découpage préalable du territoire en Voronoï (Figure 1) permet de produire de l'information sur les concentrations d'usagers et d'appels en surfaces à différents pas de temps. À partir des mouvements individuels, ces concentrations nous renseignent sur l'attractivité et la vacuité des différentes parties du territoire au cours d'une journée. Elles reflètent le déroulement du temps social en ville, identifient des zones-phares du fonctionnement urbain et des rythmes d'arrivées et de départs depuis des zones clés.

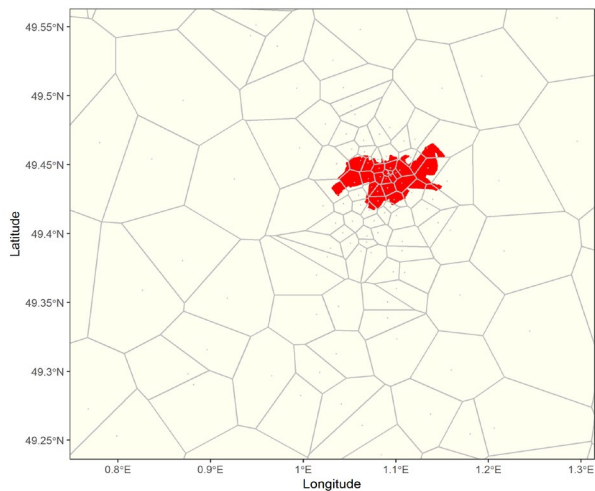


Figure 1 - Maillage des polygones Voronoï dans l'agglomération de Rouen

Parmi les méthodes utilisant des comptages surfaciques, nous présenterons les apports de deux indices surfaciques ; l'un évaluant la sur- ou sous-concentration d'usagers selon les moments et selon les différentes parties de la ville ; et l'autre, identifiant par autocorrélation spatiale des hotspots d'attractivité et des discontinuités dans l'espace urbain. L'indice de surconcentration, inspiré du quotient de localisation de P.S. Florence, indique un déplacement des centralités entre

les horaires de travail et les horaires de loisirs (Figure 2).

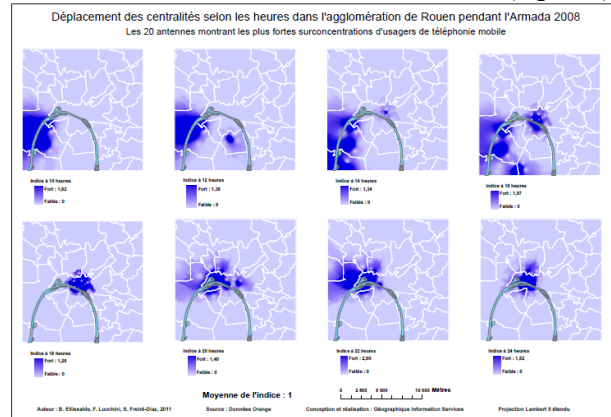


Figure 2 - Déplacements des centralités selon les heures dans l'agglomération de Rouen pendant l'Armada 2008

3.2 Saisir les mouvements par les mobilités de flux

En mobilisant les techniques des graphes dynamiques, il est possible d'identifier les trajectoires préférentielles de déplacement des usagers de téléphonie mobile, en regroupant les mouvements similaires d'usagers dans la ville. Dans la métropole de Rouen, nous avons procédé en deux étapes : En premier lieu, la mise en place d'un réseau primaire d'arêtes et de nœuds constitué par l'ensemble des trajectoire individuelles. Dans un second temps, nous procédons à une phase de clustering qui s'inspire des algorithmes ST-DBSCAN (cf. [6]) et MobilityGraphs (cf. [7]). Ces algorithmes permettent d'identifier des fonctionnements spatiotemporels de l'espace, en partitionnant les données en différents clusters et en regroupant les flux d'usagers qui circulent dans l'espace urbain. Le développement d'une interface permet d'explorer les mobilités sur un espace urbain plus ou moins étendu et des intervalles de temps variables (Figures 3 et 4). L'étude de ces trajectoires collectives dans l'espace urbain, et de leur variabilité, peut se réaliser à partir d'indicateurs globaux issus de la théorie des graphes, mais aussi en observant des indicateurs spatiaux mesurant, d'un pas de temps à l'autre, la ressemblance de la distribution spatiale des clusters d'usagers (nœuds du graphe) et des trajectoires préférentielles (arêtes du graphe). De même, on peut rendre compte de la permanence ou du caractère variable des clusters les plus importants du graphe -formant les concentrations majeures d'usagers dans la ville (Top 10) -, en mesurant la ressemblance hiérarchique du graphe de mobilité formé d'un pas de temps à l'autre.

Les résultats obtenus permettent de différencier les mobilités routinières et celles liées à l'événement Armada. En fonction du paramétrage de l'algorithme de clustering (proximité spatiale) et de la variation horaire, les graphes obtenus présentent une prévalence des axes d'entrée et de sortie de l'agglomération, avec des volumes principaux concentrés sur les quais du centre-ville. À l'inverse l'indice de surconcentration fondé sur les valeurs des surfaces, indique une translation horaire des zones d'activités vers les zones centrales commerciales et/ou ludiques.

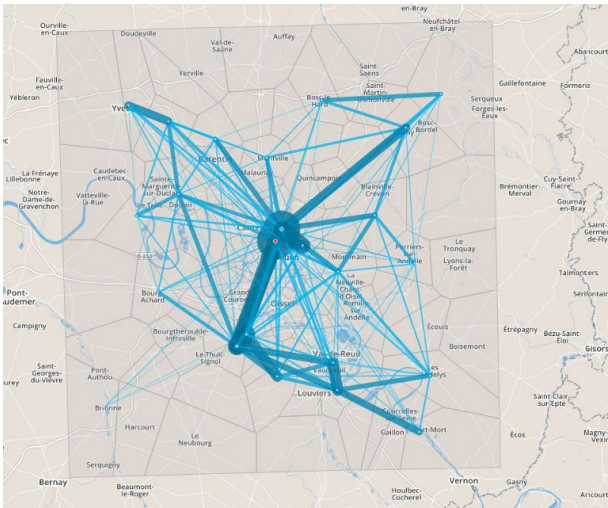


Figure 3 - Trajectoires préférentielles des usagers de 09h00 à 10h00 (clustering à 10 km)

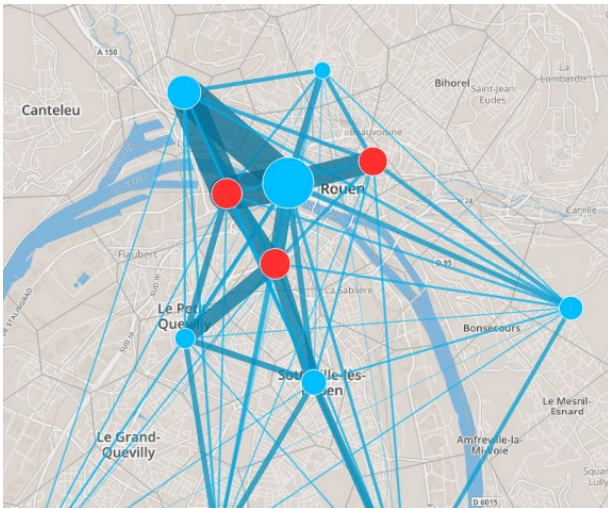


Figure 4 - Trajectoires préférentielles des usagers de 11h00 à 12h00 (clustering à 1 km)

4 Conclusion

Les données de téléphonie mobile offrent un potentiel d'exploration des mouvements de la ville. Les deux méthodes présentées permettent d'approcher les pulsations urbaines : par la variabilité des concentrations selon les moments et selon les lieux ; par la variabilité des graphes dynamiques. Les deux approches se révèlent complémentaires. L'approche surfacique souligne les concentrations statistiques tandis que l'approche réticulaire, de son côté, dépend des paramètres de clustering qui mettent en valeur façon différente la régularité des axes de circulation en fonction des niveaux d'échelle abordés. Ces deux méthodes contribuent à une meilleure compréhension des chronotopes de l'espace urbain.

Références

- [1] Blondel V.D., Decuyper A., Krings G. (2015). A survey of results on mobile phone datasets analysis. *EPJ Data Science*, vol. 4, n°1,10 p. Bonnel P. et al, (2017). Apports et limites des données passives de la téléphonie mobile pour la construction de matrices origine-destination, *R E R U*, 647-672
- [2] Elissalde B., Lucchini F., Freire-Diaz S., (2011). Mesurer la ville éphémère. *Données Urbaines*, n°6, Pumain D., Mattei M-F. (eds), *Anthropos, Economica*, 105-122.
- [3] Elissalde B., Lucchini F., Grassot L., Salamand Y., (2014). Urban events and emerging phenomena. The 4th International Conference on Complex Systems and Application, *ICCSA 2014*, Le Havre.
- [4] Grassot L. (2016). Mobilités événementielles et espace urbain : Exploitation des données de téléphonie mobile pour la modélisation des grands événements urbains. *Rousen*, 524 p.
- [5] Bonnel P., Hombourger É., Olteanu-Raimond A.-M., Smoreda Z. (2017). Apports et limites des données passives de la téléphonie mobile pour la construction de matrices origine-destination. *Revue d'Economie Regionale Urbaine*, Octobre, 647-672.
- [6] Birant D., Kut A., (2007). ST-DBSCAN: An algorithm for clustering spatial-temporal data. *Data & Knowledge Engineering, Intelligent Data Mining* 60, 208-221. <https://doi.org/10.1016/j.datak.2006.01.013>
- [7] Landesberger T. von, Brodtkorb F., Roskosch P., Andrienko N., Andrienko G., Kerren A. (2016). « MobilityGraphs: Visual Analysis of Mass Mobility Dynamics via Spatio-Temporal Graphs and Clustering ». *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 22, p. 11–20. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2015.2468111>

FROM INDIVIDUAL SPATIO-TEMPORAL TRAJECTORIES TO SPATIAL NETWORKS

Maxime Lenormand *

Abstract. An increasing number of human activities are studied using data produced by individuals ICT devices. In particular, when ICT data contain spatial information, they provide an interesting source of information to get a better understanding of general dynamics of territorial system. In this talk, we will present several empirical applications of ICT data to quantitative geography. We will focus on the extraction of origin-destination matrices from individual spatio-temporal trajectories. We will discuss the biases associated with these new sources of mobility information and their potential impacts on urban planning strategies.

Keywords. Human mobility - spatial network - resilience

1 Introduction

Massive amounts of geolocalized data are passively and continuously produced by individuals when they use their mobile devices: smart phones, credit cards, GPSs, RFIDs or remote sensing devices. This generalization of the use of information and communication technologies (ICT) devices can help us to better understand complex interactions occurring on a territory, since it makes possible to measure the concentration, movements, opinions and demands of a large part of the population in real time [1]. Although ICT data have the advantage of large samples sizes (millions of observations), and high spatio-temporal resolution, they also raise new challenging issues [2]. Some are technical and related to the storage, management and processing of these data, while others are methodological, such as the extraction of meaningful and accurate information from huge data sets.

In this talk, we will present an application of such method with the extraction of origin-destination (OD) matrices from high resolution individual geolocalized data. We will also investigate how the robustness and representativeness of these objects can be evaluated. Finally, we will discuss the importance of scale in urban planning strategies based on knowledge extracted from ICT data sets. The methodology will be illustrated on two types of mobility information and data sources.

*Irstea, UMR TETIS, 500 rue JF Breton, 34093 Montpellier, France (maxime.lenormand@irstea.fr)

2 Extraction of OD matrices

The origin-destination (OD) matrix is a standard object in aggregated mobility studies and transport planning. It provides an estimate of the number of individuals traveling from one location to another during a given time window. OD matrices are traditionally estimated with travel surveys or counting. There are several drawbacks with these approaches (cost, frequency...). Consequently, to circumvent these limitations, several methods have been developed these past few years to retrieve mobility flows information from individual digital footprints [6, 2].

The method considered during this presentation is based on the concept of most visited locations. The guiding idea is the following: the most visited place of an individual in the late afternoon/evening and in the early morning is used as a proxy for his/her place of residence, while the most visited location during working hours is a proxy for his/her workplace (or main activity place). This simple assumption has allowed the determination of mobility flows at intermediate geographical scales for a variety of cities world-wide (see for example [7, 3, 8, 9, 4]). Note that it can be applied to any other type of human activities based on circadian rhythms.

A useful and natural extension to this kind of work is to evaluate the quality of the OD estimation by comparing ODs obtained with different ICT data sources but also with traditional mobility data sources such as surveys or census data. Indeed, ICT data and data coming from more traditional data sources are complementary and need to be systematically compared as it has already been done in the recent literature [7, 3]. It is also important to systematically assess the robustness of the resulting ODs by measuring the spatial propagation of uncertainty associated for instance to the sample size, the algorithm parameter calibration process or the spatio-temporal scale to name but a few.

3 Applications

The methodological framework briefly described above will be applied on two types of complex spatial systems. We will first focus on the identification of home and work locations at cities scale using different data sources [3, 4].

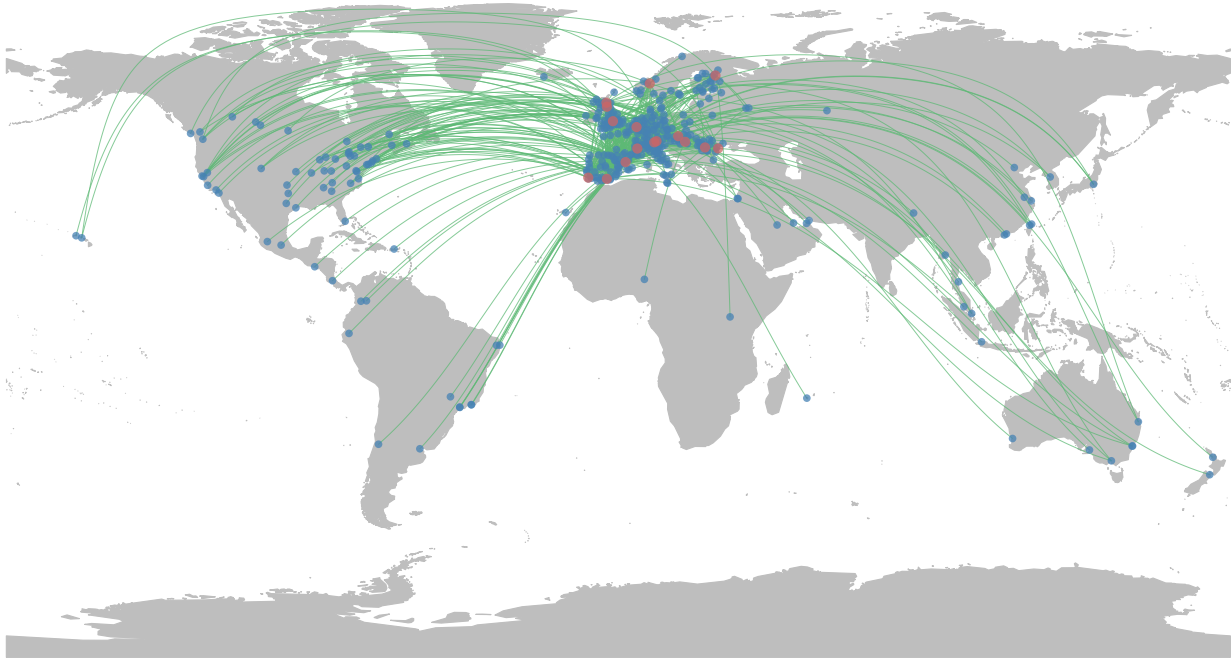


Figure 1: Representation of a socio-ecological network at a global scale. Every users' place of residence (blue dots) are linked to a visited natural sites (red dots) by one or more interactions (green curves). Figure from [5].

We will introduce two complementary ways for evaluating the quality of the results. A first approach based on the comparison of the ODs extracted from four different data sources (census, mobile phone call detailed records, Twitter data and credit cards records), and a second approach based on the measurement of spatial uncertainty propagation at different scales. We will then present an example of home locations' identification at a world scale using Flickr data [5]. The idea here is to identify the place of residence of tourists visiting different natural sites in Europe (Figure 1). In this case, the accuracy of the estimation will be evaluated using an online survey sent to the Flickr users through a Flickr group.

Acknowledgements

This work was supported by a grant from the French National Research Agency (project NetCost, ANR-17-CE03-0003 grant).

References

- [1] M. Lenormand, and J.J. Ramasco, "Towards a Better Understanding of Cities Using Mobility Data", *Built Environment* vol. 42, pp. 356-364, 2016.
- [2] H. Barbosa-Filho *et al.*, "Human Mobility: Models and Applications", *Physics Reports* vol. 734, pp. 1-74, 2018.
- [3] M. Lenormand *et al.*, "Cross-checking different sources of mobility information", *PLoS ONE* vol. 9, pp. e105184, 2014.
- [4] M. Lenormand *et al.*, "Is spatial information in ICT data reliable?", *In proceedings of the 2016 Spatial Accuracy Conference, Montpellier, France*, pp. 9-17, 2016.
- [5] M. Lenormand *et al.*, "Multiscale socio-ecological networks in the age of information", *PLoS ONE* vol. 13, pp. e0206672, 2018.
- [6] N. Caceres *et al.*, "Review of traffic data estimations extracted from cellular networks", *IET Intell. Transport Syst.* vol. 2, pp. 179-192, 2008.
- [7] M. Tizzoni *et al.*, "On the Use of Human Mobility Proxies for Modeling Epidemics", *PLOS Comput Bio* vol. 10, pp. e1003716, 2014.
- [8] L. Alexander *et al.*, "Origindestination trips by purpose and time of day inferred from mobile phone data", *Transportation Research Part C: Emerging Technologie* vol. 58, pp. 240-250, 2015.
- [9] J. Toole *et al.*, "The path most traveled: Traveldemand estimation using big data resources", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* vol. 58, pp. 162-177, 2015.

APPREHENDER LE COVOITURAGE A TRAVERS L'ANALYSE DES TRAJETS DE LA PLATEFORME BLABLACAR : L'EXEMPLE DE LA METROPOLE RENNAISE

Boris Mericskay¹

Résumé. Cette communication explore les potentialités des traces numériques dans la compréhension du covoiturage à travers l'exploration des données de la plateforme BlaBlaCar. Par l'analyse des trajets publiés au départ et à destination de Rennes pendant 5 mois, l'objectif est de dresser un portrait du covoiturage au sein de la capitale bretonne et de faire un tour d'horizon des forces et des limites de ces nouvelles données dans la compréhension de cette forme de mobilité.

Mots-clés. Analyse exploratoire des données; Covoiturage ; SIG ; Big data ; Mobilité

Introduction

Les traces numériques offrent de multiples perspectives de recherche sur les mobilités en permettant de saisir des pratiques spatiales avec une granularité et des échelles spatio-temporelles difficilement accessibles avec d'autres méthodes [1]. Toutefois, penser et analyser les pratiques de déplacements par le prisme de ces données d'un type particulier soulève de nombreuses interrogations tant au niveau de la nature des données, des modalités d'accessibilité que des méthodes et des techniques de traitement associées [2 ; 3].

Cet article interroge la capacité des traces numériques à constituer une ressource nouvelle dans l'analyse des mobilités. Il a pour ambition d'explorer les potentialités des traces dans la compréhension du covoiturage par le spectre de données fournies par la plateforme BlaBlaCar, leader du marché français du covoiturage organisé. Par l'analyse (temporelle et spatiale) d'un corpus de 150 000 trajets publiés sur 5 mois, l'objectif est à la fois de jeter un regard compréhensif sur les pratiques covoiturations tout en mettant en évidence une série de limites inhérentes à la nature et à la structure de ces données.

La première partie revient la méthodologie de collecte mise en place et le jeu de données. Les grandes tendances de l'offre de trajets d'un point de vue temporel sont ensuite exposées selon différentes caractéristiques. La dimension spatiale et territoriale des données est par la suite abordée à deux échelles d'analyse, l'une nationale et l'autre locale. Enfin les questions relatives à l'accessibilité et à l'utilisabilité de ces données sont abordées et mises en perspective.

¹ Maître de conférences en géographie, Université Rennes 2, UMR ESO, France. E-mails: boris.mericskay@univ-rennes2.fr

1 Méthodologie et données

Les données relatives aux trajets mis en vente sur la plateforme BlaBlaCar sont accessibles gratuitement en ligne via une API publique. Ce service permet de récupérer des trajets publiés en fonction d'une ville de départ et/ou d'arrivée, une date, un prix ou du nombre de places disponibles. Du côté des attributs qui caractérisent les trajets, le service propose une trentaine de champs relatifs à la localisation des lieux de départ et d'arrivée (coordonnées géographiques, adresse, nom de la ville, pays,...), au temps (date et heure du départ, durée du trajet), au prix, à la distance du trajet ou aux modalités de réservation.

Les données de BlaBlaCar sont particulièrement intéressantes à explorer et à analyser dans la mesure où leur structuration et leur sémantique permet constituer des matrices origines-destinations. Ces dernières sont très utiles dans la compréhension des logiques de covoiturage qui peuvent se mettre en place au sein d'une ville ou d'une région. Dans le cadre de cette étude, les trajets publiés au départ et à destination de Rennes entre le 1er avril et le 31 août 2018 ont été récupérés, agrégés et structurés. Le jeu de données constitué recense ainsi 151 125 trajets, dont 75 390 trajets au départ et 75 735 trajets à destination de Rennes.

2 Analyse temporelle des trajets

Un premier axe de l'étude se concentre sur l'analyse des rythmes de l'offre de trajets selon différentes temporalités (mois, semaine, jour, heure). D'un point de vue général, l'offre de trajets au départ et à destination de Rennes suit une logique cyclique fortement en lien avec les déplacements relatifs aux fins de semaines. Cette forme de covoiturage aux temporalités spécifiques est essentiellement pratiquée par des jeunes actifs, des étudiants, des personnes non-motorisées, des salariés rentrant chez eux le week-end ou des vacanciers [4].

Concernant le rythme hebdomadaire par exemple, l'offre de trajets se concentre essentiellement en fin de semaine avec un pic principal le vendredi et deux autres pics moins importants, le dimanche et le lundi. Il ressort de ces données une certaine logique d'émission et de ré-

ception de Rennes le week-end. On constate ainsi une plus grande offre de trajets au départ de Rennes les vendredis, et davantage de trajets de retour le dimanche et le lundi. Sur le plan de la relation entre jour de la semaine et distance des trajets, les trajets des fins de semaine ont en moyenne des distances plus élevées (220 km le vendredi contre 177 km le mardi).

Enfin au niveau des horaires, il existe une certaine différence dans les rythmes quotidiens entre les trajets au départ et ceux à destination de Rennes. D'un côté, la fréquence des heures de départ des trajets partant de Rennes suit une logique d'offre qui débute tôt le matin et se stabilise en milieu d'après-midi pour ensuite connaître un pic de 16h à 19h. De l'autre, le rythme quotidien des heures de départ des trajets à destination de Rennes se caractérise par deux pics journaliers, un le matin de 6h à 10h et un autre en fin d'après-midi de 16h à 20h. Concernant la relation entre horaire de départ et distance, il ressort que les trajets les plus longs partent généralement tôt le matin ou alors en fin de soirée.

3 Analyse spatiale multiscale

Dans cette partie, les données sont analysées d'un point de vue spatial à deux échelles : l'une nationale envisage les trajets selon leur origine, leur destination et leur distance ; l'autre locale, revient sur la configuration et la distribution spatiale des lieux de covoiturage à Rennes.

Pour comprendre les origines et les destinations des trajets publiés, une analyse à l'échelle nationale permet de mettre en lumière les dynamiques spatiales du covoiturage rennais. Il apparaît que l'offre de covoiturage au départ et à destination de Rennes couvre une grande partie du territoire national mais selon des concentrations plus ou moins fortes. On constate que la majorité des trajets partent et arrivent au sein de la même zone d'influence, à savoir en Bretagne, dans les Pays de la Loire, en Normandie et en Ile-de-France. Cette polarité régionale de l'offre de covoiturage est d'ailleurs mise en évidence par les distances moyennes des trajets (161 km au départ de Rennes et 185 km à destination de Rennes).

Dans une optique de qualification et de quantification des relations interurbaines, l'agrégation spatiale des lieux de départ et d'arrivée à l'échelle des régions fait ressortir des logiques territoriales bien marquées. La région Bretagne concentre par exemple plus de 46 % des trajets démontrant une très forte dynamique régionale dans les pratiques de covoiturage. En affinant à l'analyse à l'échelle des EPCI il apparaît que l'offre de covoiturage se concentre essentiellement aux principaux pôles urbains régionaux autour de Rennes comme Nantes, St-Malo, St-Brieuc ou Vannes.

La nature des données de BlaBlaCar permet également d'envisager les pratiques de covoiturage à un niveau plus

fin. L'analyse des lieux de covoiturage à l'échelle locale est une piste pertinente à explorer dans une optique de compréhension de pratiques de covoiturage au sein de la ville de Rennes. L'agrégation spatiale des lieux de départ et de destination au sein d'un carroyage permet par exemple une lecture fine de la question par la mise en lumière les logiques de distribution spatiale des lieux de covoiturage et surtout leur quantification. Il ressort que les zones de rencontres privilégiées par les utilisateurs de BlaBlaCar renvoient à certaines caractéristiques communes, comme la présence d'infrastructures de transport en commun ou de lieux générateurs de déplacements et surtout la proximité à la rocade [5].

Dernier axe exploré dans cette étude, la mise en perspective des pratiques des usagers de la plateforme avec les équipements dédiés au covoiturage. L'analyse revient sur l'inadéquation entre « lieux institutionnels » et « lieux d'usage » de covoiturage en mettant en avant à la fois les raisons de cette dichotomie et les conflits d'usages émanant de cette situation.

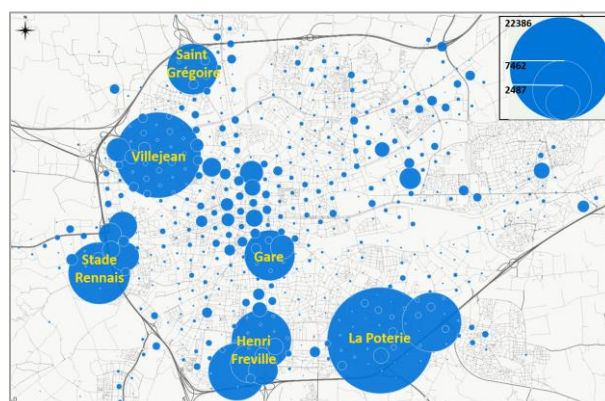


Figure 1: Agrégation spatiale des lieux de covoiturage à l'échelle de la ville de Rennes

Références

- [1] Beaud B., 2015, "Spatialités algorithmiques", In : Severo M. et Romele A. (dir.), Traces numériques et territoires, Paris, Presses des Mines, 135-162.
- [2] Mericskay B., Noucher M., & Roche S., 2018, "Usages des traces numériques en géographie: potentiels heuristiques et enjeux de recherche", L'Information Géographique, Vol. 82, No.2, 39-61.
- [3] Chen C., Ma J., Susilo Y., Liu Y., & Wang M., 2016, "The promises of big data and small data for travel behavior (aka human mobility) analysis", Transportation research part C: emerging technologies, Vol.68, 285-299.
- [4] CGDD, 2016, "Covoiturage longue distance : état des lieux et potentiel de croissance", Collection Études et documents du Commissariat Général au Développement Durable (CGDD), No. 146.
- [5] Castex E., 2015, "Organisation des pratiques de covoiturage entre inconnus dans les territoires", Netcom, Vol.29, No.1/2, 153-176.

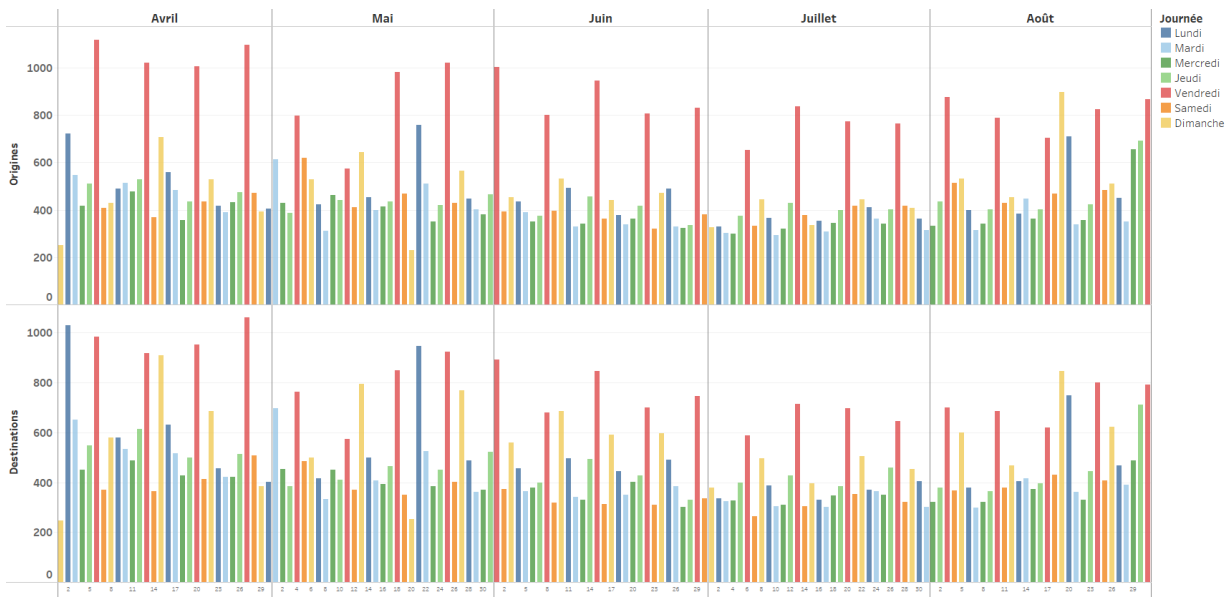


Figure 2: Nombre de trajets quotidiens sur les cinq mois de l'analyse

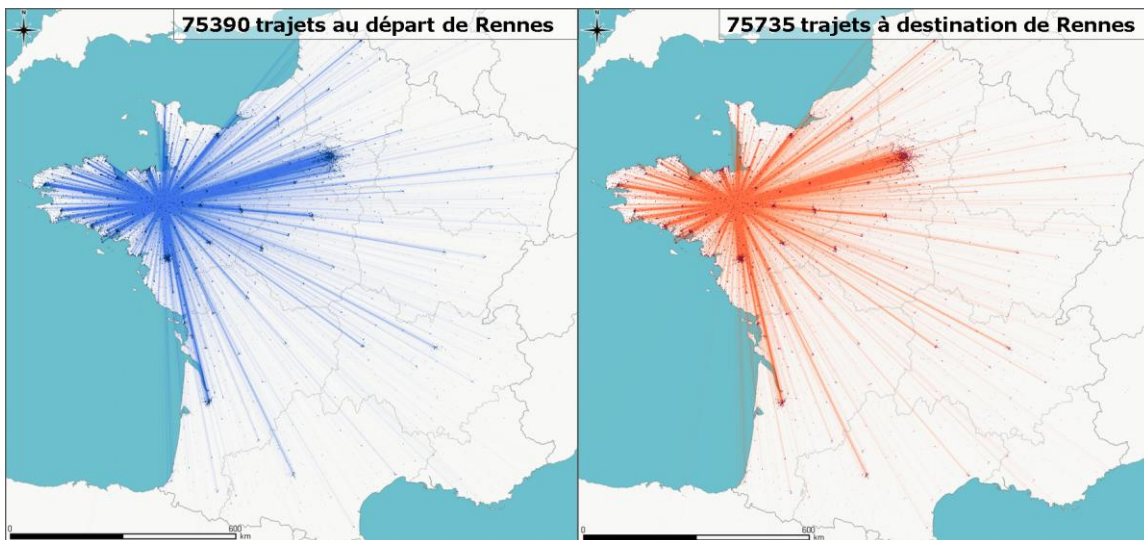


Figure 3: Trajets au départ et à destination de Rennes

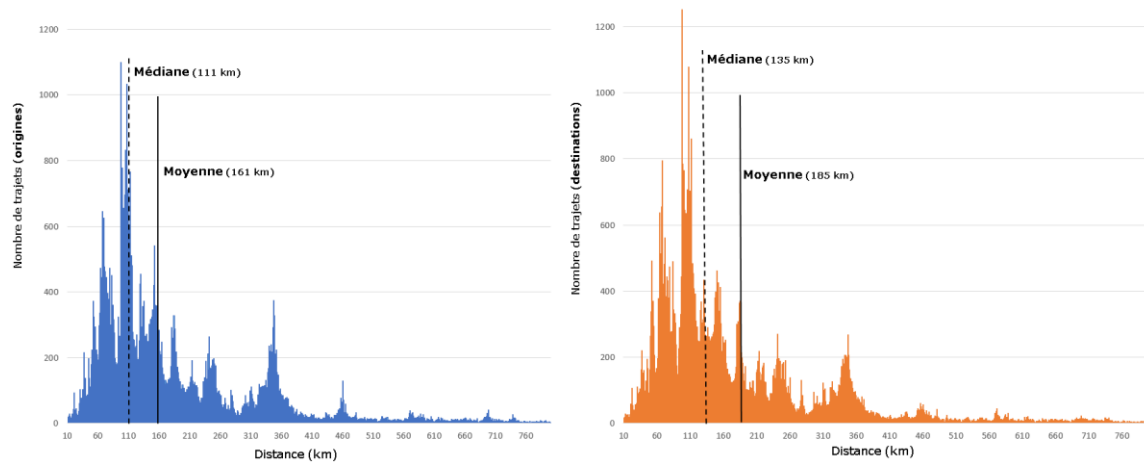


Figure 4: Distances des trajets sur les 5 mois de l'étude

Territoires et mobilités durables

ECOMOB-MULTIMOD (EM3) : UN MODÈLE À BASE D'AGENTS POUR EXPLORER LES EFFETS DE NOUVEAUX DISPOSITIFS RÉGLEMENTAIRES SUR LA QUALITÉ DE L'AIR ET LA MOBILITÉ QUOTIDIENNE

Salze P¹, Bailly-Hascoët V², Balev S¹, Bertelle C¹, Corson N³, Couturier L², Langlois T⁴ et
Sajous P⁴

Résumé. De nombreux acteurs territoriaux voient leurs compétences et pouvoirs réglementaire s'enrichir de nouveaux « leviers » visant à favoriser le développement de l'écomobilité. EM3 est un modèle de transport qui a pour objectif de simuler les conséquences potentielles de différentes mesures réglementaires sur les déplacements des habitants d'un territoire urbain et sur les émissions polluantes qui en résultent. L'une des originalités de ce modèle est qu'il met l'accent sur la dimension comportementale, en considérant que cette dernière constitue un paramètre dont les effets sur les sorties des modèles de transport sont aujourd'hui inconnus et possiblement non-négligeables. À côté de l'approche économique classique sont implémentées une approche comportementale socio-psychologique et une approche issue de la sociologie. La comparaison des trois approches comportementales montre des différences notables dans l'amplitude des évolutions observées, que ce soit globalement ou au niveau d'indicateurs locaux. D'un autre côté, les résultats indiquent que les effets d'une mesure comme une Zone à Faibles Emissions dépassent le cadre strict du secteur géographique concerné, pouvant également contribuer à renforcer ou atténuer des inégalités socio-spatiales existantes.

Mots-clés. Ecomobilité, réglementation, modélisation à base d'agents, simulation, comportements, inégalités socio-spatiales

1 Introduction

La rapide et conséquente évolution de la réglementation en faveur du développement de l'écomobilité pour réduire l'impact environnemental des déplacements de

personnes et de marchandises semble indiquer qu'un « tournant environnemental » est en train de se produire, à minima sur le plan réglementaire et législatif. De nombreux acteurs territoriaux voient leurs compétences et pouvoirs réglementaire s'enrichir de nouveaux « leviers » qu'ils pourront, ou devront actionner sur leur territoire, concrétisant ainsi, ou non, un tournant politique en faveur de l'environnement. Nombre de ces acteurs se sont dotés ou cherchent aujourd'hui à se doter d'outils de simulation prospective en vue d'évaluer les effets potentiels de ces nouvelles mesures. Il s'agit de voir si ces dernières seraient susceptibles de donner lieu à un tournant comportemental (c'est-à-dire une modification durable des pratiques des individus) que l'on suppose nécessaire à l'amélioration de la qualité de l'environnement.

Dans le cadre du projet XTERM (FEDER/Région Normandie), notre équipe se propose, en s'appuyant sur la perspective des systèmes complexes et en s'adossant sur des savoirs juridiques, informatiques, géographiques et d'aménagement du territoire, de construire un outil de compréhension et d'aide à la décision à destination des acteurs socio-économiques et des élus. L'outil que nous développons, le modèle EM3 (EcoMob-MultiMod), est un modèle à base d'agents qui a pour objectif de simuler les conséquences potentielles de différentes mesures réglementaires (visant à favoriser l'écomobilité) sur les déplacements des habitants d'un territoire urbain et sur les émissions polluantes qui en résultent. EM3 apparaît donc comme un modèle de transport où sont simulées des décisions individuelles relatives aux modes de transport et itinéraires empruntés dans le cadre de trajets domicile-travail. Cependant, si les modèles de transport classiques reposent en grande majorité sur une approche utilitariste [1] qui ignore largement le caractère routinier des pratiques ainsi que la dimension socio-symbolique de ces dernières [2], l'une des originalités du modèle EM3 est qu'il met l'accent sur la dimension comportementale, en considérant que cette dernière constitue un paramètre dont les effets sur les sorties des modèles de transport

¹ Paul Salze, Stefan Balev et Cyrille Bertelle sont membres du LITIS, Université Le Havre-Normandie, France. E-mails: paul.salze@univ-lehavre.fr, stefan.balev@univ-lehavre.fr, cyrille.bertelle@univ-lehavre.fr

² Valérie Bailly-Hascoët et Ludovic Couturier sont membres de l'Institut du Droit International des Transports, Rouen, France. E-mails: vbailly-hascoet@idit.asso.fr, lcouturier@idit.asso.fr

³ Nathalie Corson est membre du LMAH, Université Le Havre-Normandie, France. E-mail: nathalie.corson@univ-lehavre.fr

⁴ Thibaut Langlois et Patricia Sajous sont membres du laboratoire IDEES, CNRS/Université Le Havre-Normandie, France. E-mails: thibautlanglois@sfr.fr, patricia.sajous@univ-lehavre.fr

sont aujourd'hui inconnus et possiblement non-négligeables.

2 Description du modèle

Afin d'explorer cette question, nous avons opté pour la modélisation d'une configuration urbaine très schématisée, la mise en œuvre d'un scénario consistant en la création d'une Zone à Faibles Emissions (ZFE) et l'implémentation de trois approches décisionnelles. À côté de l'approche économétrique traditionnelle dans laquelle les décisions des individus se basent sur des critères instrumentaux (minimisation des coûts du déplacement) viennent ainsi s'ajouter deux autres perspectives. La première est issue de la psychologie sociale (la Théorie du Comportement Planifié [3], [4]) où le comportement dérive d'intentions, qui sont elles-mêmes dépendantes des attitudes, des normes existantes au sein du réseau social de l'individu, et d'une capacité à faire face à des barrières comportementales (capacité de contrôle sur le comportement). La seconde est issue de la sociologie dispositionnelle (s'appuyant sur la théorie de la pratique [5]) où la logique est celle d'un ajustement entre dispositions et contexte, en considérant que toute pratique (que ce soit dans le champ de la mobilité ou non) implique des enjeux de positionnement social. Il s'agit ici d'introduire l'idée que toutes les pratiques de mobilité ne sont pas accessibles à l'ensemble de la population, et plus précisément que le champ des pratiques possibles est avant tout déterminé par les dispositions de l'individu, qui sont elles-mêmes dépendantes de la position sociale que celui-ci occupe.

Différents indicateurs fournis en sortie par le modèle nous permettent de comparer ces trois approches. Si la notion d'écomobilité peut apparaître comme restreinte à une seule dimension environnementale, nous la replaçons dans le cadre plus large de la mobilité durable en portant également attention à la question des effets des mesures sur une dimension sociale, et en particulier aux inégalités socio-spatiales en matière de pratiques de mobilité (modes de transport utilisés) et d'exposition à la pollution. On distinguera ainsi des indicateurs « globaux », nous permettant d'estimer les effets de la mise en place d'une ZFE sur l'ensemble de la population et du territoire, et des indicateurs que nous qualifierons de « locaux », se rapportant plus spécifiquement aux différents segments composant la population (catégories sociales) ainsi qu'aux différents sous-ensembles constituant le territoire (centre et périphéries).

3 Résultats principaux

Le scénario simule l'interdiction d'accès aux quartiers centraux de l'agglomération pour les véhicules les plus polluants. Dans cette première version, on considère que

les automobilistes n'ont pas la possibilité de changer de véhicule, et, dans le cas où ils résident et/ou travaillent au sein de la ZFE, n'ont donc d'autre solution que d'adopter un autre mode de transport (la marche, le vélo ou les transports en commun). Ce choix de modélisation conduit donc mécaniquement à observer une relativement forte diminution de l'usage de l'automobile au profit des autres modes de transport, et par conséquent à une amélioration globale de la qualité de l'air. La comparaison des trois approches comportementales montre cependant des différences notables dans l'amplitude des évolutions observées, que ce soit globalement ou au niveau des indicateurs locaux.

Dans l'ensemble, ces premiers résultats permettent d'une part de confirmer que le choix d'un modèle décisionnel par rapport à un autre n'est pas sans conséquences sur les sorties d'une simulation, et montrent d'autre part que les effets d'une mesure comme une ZFE dépassent non-seulement le cadre strict du secteur géographique concerné, mais qu'elle peut également contribuer à renforcer ou atténuer des inégalités socio-spatiales existantes. Il s'agit alors de veiller à ce que le « tournant environnemental » entamé sur le volet réglementaire, et qui se concrétise peu à peu sous forme de nouvelles politiques publiques, ne reste pas aveugle aux effets sociaux qu'il produit.

Références

- [1] Rasouli, S., Timmermans, H., 2014. Activity-based models of travel demand: promises, progress and prospects. *International Journal of Urban Sciences* 18, 31–60. <https://doi.org/10.1080/12265934.2013.835118>
- [2] Schwanen, T., Banister, D., Anable, J., 2012. Rethinking habits and their role in behaviour change: the case of low-carbon mobility. *Journal of Transport Geography, Special Section on Theoretical Perspectives on Climate Change Mitigation in Transport* 24, 522–532. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.06.003>
- [3] Ajzen, I., 1991. The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes* 50, 179–211. [https://doi.org/10.1016/0749-5978\(91\)90020-T](https://doi.org/10.1016/0749-5978(91)90020-T)
- [4] Bamberg, S., Ajzen, I., Schmidt, P., 2003. Choice of Travel Mode in the Theory of Planned Behavior: The Roles of Past Behavior, Habit, and Reasoned Action. *Basic and Applied Social Psychology* 25, 175–187. https://doi.org/10.1207/S15324834BASP2503_01
- [5] Bourdieu, P., 1980. *Le Sens pratique*, Coll. *Le sens commun*. Les Éditions de Minuit, Paris.

JOUER LA MOBILITÉ URBAINE ? RETOUR D'EXPERIENCE SUR UN MODELE ET UN JEU DE FABRIQUE D'UN TERRITOIRE SANS VOITURE

Banos Arnaud¹, Debrie Jean²

Résumé. Ce papier rend compte d'une démarche de prospective intitulée Post-Car Ile-de-France. Cette démarche repose sur la co-production d'un modèle multi-agents et d'un jeu de plateau mobilisable dans des séances de prospective. Elle revendique ainsi une approche non tendancielle apte à produire des récits urbains et à en mesurer les conséquences sur le fonctionnement urbain. L'intérêt de ce dispositif est discuté dans ce papier.

Mots-clés. Mobilité urbaine, modèle, jeu, prospective,

1 Introduction

La régulation de la mobilité individuelle motorisée est à l'agenda des politiques publiques. Elle repose sur une lecture nouvelle de la place de la voiture en ville. Cette remise en cause partielle de la voiture – corollaire des agendas de durabilité urbaine - est confrontée à une dépendance (sociale et géographique) à cet outil de transport. De nombreux exercices de modélisation urbaine permettent alors de mesurer la difficulté de réduire significativement la part modale de la voiture. La réflexion prospective est ainsi lestée par la prise en compte nécessaire d'une composition territoriale structurée par la voiture.

Ce papier a pour objectif de rendre compte d'une démarche de modélisation et de prospective s'affranchissant totalement de cette dépendance à la voiture pour scénariser sur trente ans des espaces sans voiture et en mesurer les conséquences sur les indicateurs classiques du fonctionnement urbain. Inscrit dans une démarche de recherche intitulée Post Car Ile-de-France (Forum des Vies Mobiles-UMR Géographie-cités), cette démarche repose sur la co-production d'un modèle multi-agents et d'un jeu de plateau au service d'un exercice de prospective. Nous en proposons

ici une présentation et une réflexion critique.

2 Positionnement et contexte scientifique

2.1 Modéliser et jouer....

Le programme Post-Car Ile de France explore l'hypothèse d'une réduction forte de la mobilité individuelle. Il repose sur trois étapes : (1) un diagnostic des pratiques de mobilités en Ile de France complété par une analyse qualitative des aspirations à la mobilité ; (2) une modélisation des pratiques de mobilités à l'échelle régionale et la construction d'un jeu sérieux sur cette question des mobilités quotidiennes ; (3) une analyse des politiques publiques menées sur cette question des mobilités. L'exercice de modélisation repose sur la production d'un modèle macro (générateur de scénarios d'organisation du territoire répondant à l'objectif de réduction des mobilités individuelles motorisées) et d'un modèle micro (Post-Car) permettant de « jouer » des configurations de territoire sans voiture. Des séances prospectives menées lors d'ateliers de jeu (étudiants, chercheurs, grand public) mobilisent le modèle micro pour explorer des scénarios sans voiture.

Cette recherche s'inscrit donc dans la mobilisation du jeu comme nouvel outil participant de la diversification des registres de scénarisation et laissant une place plus forte aux exercices de fiction, de création et d'imagination. Cette utilisation croissante du jeu dans la prospective (dans les champs académiques, associatifs, politiques) participe d'un renouvellement des expertises et de la diversification des participants.

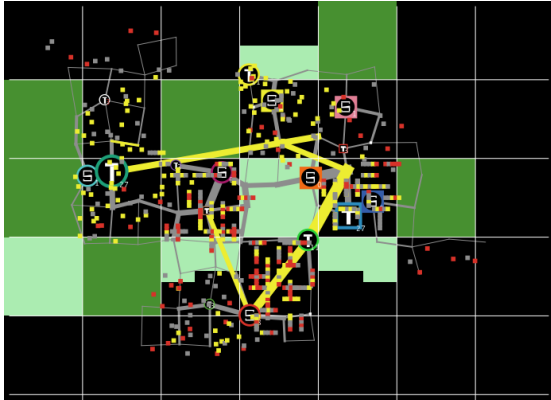
2.2 La co-production d'un modèle et d'un jeu

Le dispositif mobilisé repose donc sur l'articulation d'un modèle et d'un jeu. Le modèle de simulation multi-agents permet de visualiser (trafic, forme, fonctions) le territoire produit et d'en évaluer les caractéristiques à partir d'indicateurs de sortie (temps d'accès, surface bâtie, parts modales...). Il est ainsi un outil d'évaluation

¹ Arnaud Banos est directeur de recherche au CNRS (UMR IDEES)
E-mail: arnaud.banos@parisgeo.cnrs.fr

² Jean Debrie est professeur des universités (Université Paris 1
Panthéon-Sorbonne- UMR Géographie-cités)
E-mail: jean.debrie@univ-paris1.fr

mais aussi de programmation d'un jeu de construction d'un territoire sans voiture. Ce jeu s'inscrit dans une temporalité de trente ans (trois tours de table de 10 ans) où les joueurs à partir de responsabilités particulières produisent sur un plateau un territoire sous contrainte (monétarisation des choix de transport, de bâti, d'espaces publics, et d'espaces d'activité, cartes bouleversement...).



Fiche «Calcul de points» du jeu Mission Post-Car, mars 2018

CALCULER SES POINTS

	+0	+1	+2	+3
RESPONSABLE ENVIRONNEMENT Surface d'espaces verts (production et loisir) Diversité du paysage (Dense, très dense, diffus)	0 - 40%	40 - 50%	50 - 55%	+ de 55%
RESPONSABLE TRANSPORTS Temps d'accès moyen aux services Temps d'accès moyen aux emplois	+ de 30 min + de 30 min	20 - 25min 20 - 25min	10 - 25min 10 - 25min	0 - 10min 0 - 10min
RESPONSABLE CADRE DE VIE Distance moyenne aux espaces verts Nombre d'équipements pour 1000 habitants	+ de 2 km 1	1 km - 2 km 2	500 - 1 km 3	0 - 500m + de 3
RESPONSABLE ECONOMIE Taux de chômage de la population active Nombre d'innovations	+ de 40% 0	30 - 40% 1	20 - 30% 2	0 - 20% 3 et +

Calcul de points, Session 17 mars 2018

Figure 1: Mission Post-Car 2030.

3 Résultats principaux

Cette expérience en cours apporte plusieurs éléments de réflexion. Du point de vue de l'enseignant-chercheur, elle atteste de l'intérêt de ces nouveaux outils pour discuter des modèles de développement urbain et des choix de formes urbaines. Les discussions sur ces choix autorisent une réflexion sur la localisation des éléments du territoire (habitats, emplois, espaces publics...) et les questions de mobilité associées. Outil pédagogique donc, la question de l'intérêt de ces dispositifs dans d'autres registres reste probablement plus ouverte. Ce dispositif permet aux participants de rentrer de façon évidente en posture prospective et de sortir d'une réflexion tendancielle. Et la modélisation autorise au final un basculement de joueurs non experts de la ville dans une démarche de programmation apte à enrichir (et valider) les scénarios proposés. La variété et la qualité des modèles urbains proposés dans les sessions de jeu (3 sessions étudiants, 1 session grand public, une session chercheurs) attestent au fond d'un dispositif d'apprentissage collectif et de compréhension du lien urbanisme-mobilité. Cette expérience spécifique atteste alors de l'intérêt de ce type de dispositif dans la pratique pédagogique et scientifique (réfléchir sur les modèles urbains) mais également dans une pratique grand public de réflexion collective (penser la ville). Les nombreuses expériences similaires de jeux urbains sérieux recensés par exemple par la Compagnie des Rêves Urbains attestent de cet intérêt.

4 Application

La présence d'un modèle, plus rare dans ce type de jeu urbain sérieux, permet d'ajouter à cette scénarisation des indicateurs aptes à mesurer la distance à l'objectif des scénarios mis en place. Ce dispositif modèle-jeu peut devenir alors à ce titre un outil scientifique d'évaluation de la traduction d'un changement de système. Reste alors au final une question ouverte à traiter dans la suite des recherches, celle de l'intérêt éventuel de ce type d'outils dans la mise en place d'exercices de prospective à nature programmatique et donc de la capacité de ces outils à intégrer la palette (participative) des outils de l'action publique.

Remerciements

Le projet Post-Car est mené par des chercheurs de l'UMR Géographie-Cités (Arnaud Banos, Sandrine Berroir, Hadrien Commenges, Jean Debrie, Juliette Maulat). Il est financé et encadré sur le plan scientifique par le Forum Vies Mobiles – l'institut de recherche et de prospective soutenu par SNCF pour préparer la transition mobilière.

Le jeu de plateau et l'univers de jeu (mission Post-Car Ile-de-France) ont été réalisés dans le cadre d'un atelier

du Master d'Urbanisme de l'Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne par : Ella Beeker, Fanny Cottet, Violette Desfontaines, Manon Rodier, Manon Rollet.
contact@quartiersludiques.com

Références

- [1] A. Banos A. « The city, a complex system ? The new challenges of urban Modelling » in Lagrée S., Diaz V. (dir.), *A glance at sustainable urban development : Methodological, Crosscutting and Operational Approaches*, Paris, Agence Française de Développement, 2015 110-119.
- [2] Berroir S., Commenges H., Debrie J., Maulat J., Bordedebat C., Blandeau G., Briend E., Lanon J. « Dessine moi une ville sans voiture : les aspirations en matière de mode de vie et de mobilité en Ile de France » in *Nouvelles Perspectives en Sciences Sociales*, vol 13, n°2, 2018, pp. 27-74.
- [3] C Bonhomme, Commenges H., Deroubaix J.-F. (dir.) *Dictionnaire passionnel de la modélisation urbaine*, Éditions de l'Oeil d'Or, 2017, 253 p.
- [4] Crozet Y., Orfeuil J.-P., Massot M.-H., *Mobilité urbaine : cinq scénarios pour un débat*, DRAST, CPVS, 2001, 68 p.
- [5] Dupuy G. *La dépendance automobile. Symptômes, analyses, diagnostic, traitements*, Paris, 1999, Anthropos, 160 p.
- [6] Motte-Baumvol B. « La dépendance automobile pour l'accès des ménages aux services: Le cas de la grande couronne francilienne », *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*, n°5, 2007, pp. 897-919.
- [7] Offner JM. « Les bretelles de Margaux. Enjeux et prospective du droit à la mobilité et de ses domaines d'application », *Mobile / Immobile (Vol 2)*, Forum des Vies Mobiles, 2011, pp 129-137.

IDENTIFYING PLANNING AND GOVERNANCE ACTIONS IN REGIONAL MOBILITY (TANGRAM): A TOOL FOR SHARING THINKING

Simone Landini, Sylvie Occelli¹

Abstract. To support the design of a regional sustainability oriented long-term transport plan, an analytic tool is proposed. It addresses a delicate stage of decision-making in which the selection of interventions should take into account their integration and implementation capability.

An overview of the analytic tool is presented along with the hypotheses underlying the design of its functional components. Attention focuses on the first component aimed to identify the candidate actions of a policy package. A network based approach is used to show how actions can be organized in coherent sets, and viewed by different viewpoints.

Keywords. Sustainable mobility, policy thinking tool, impact analysis, sustainable transport planning, policy package

1 Introduction

To engage into sustainable mobility we need to leverage a sustainable policy system. The statement echoes a longstanding recommendation according to which for a policy to be successful its complexity should be as complex as the problem it has to address (see [1,2, 3]).

The arguments are foremost for the Mobility and Transport Plan (MTP) recently laid out in the Piedmont region. The long-term plan takes up the European challenges of sustainable transport and climate change (see [4]), and adopts a new planning approach.

In the current stage of the plan development a few questions are gaining prominence. Given the list of interventions which ones are more likely to form a successful package and achieve the desired goals most effectively? How the integration of the interventions (the package) may be affected by actors' involvement and resource availability? Which action package is likely to have a greater implementation success and therefore be itself more sustainable?

To address these questions an analytical tool aimed to support the reasoning process is proposed. In the fol-

lowing we give an overview of the work carried out so far to implement the tool.

To reflect the expected role of the analytical tool, it has been named TANGRAM, (IDENTIFYING PLANNING AND GOVERNANCE ACTIONS IN REGIONAL MOBILITY) upon the Chinese puzzle consisting of seven flat shapes, called *tans*, which are put together to form shapes. Here the tans represent the plan's interventions and the shape is associated to a certain policy package. Metaphorically speaking, therefore, different lays-out of the tans/actions would create different shapes/policy packages with varying performance attributes such as implementation capability, costs, and benefits.

2 Designing TANGRAM

A number of studies exist which can provide a reference background for developing the tool (see, for example, [5],[6]). It has been realized however that to favor its appropriation in current practices, the tool has to be tailored made and crafted step by step with the users. Two basic requirements for its development are that: a) the conceptual underpinnings derive from the MTP's contents; these are the main knowledge domain to be shared between government and research activities; The Piedmont MTP has identified 13 objectives to be reached by ten year time intervals and 49 interventions grouped in 7 action domains, dealing with safety, accessibility, public transport effectiveness and efficiency, regional competitiveness, environment protection and livability; b) there exists a dialogic interaction between the research and government teams. This is essential for understanding the tool's algorithmic properties and making it easier for the users to apply the tool.

Fig. 1 shows the components of TAMGRAM: the functional components and their main operations, the inputs and outputs. The first functional component identifies the candidate interventions for a policy package. The second selects those which have a priority role in achieving plan's goals. The last one specifies the feasibility conditions of the selected action package.

¹ S. Landini and S. Occelli are with IRES Piemonte, Istituto di Ricerche Economico Sociali del Piemonte, via Nizza 18, 10125 Turin. E-mails: landini@ires.piemonte.it, occelli@ires.piemonte.it

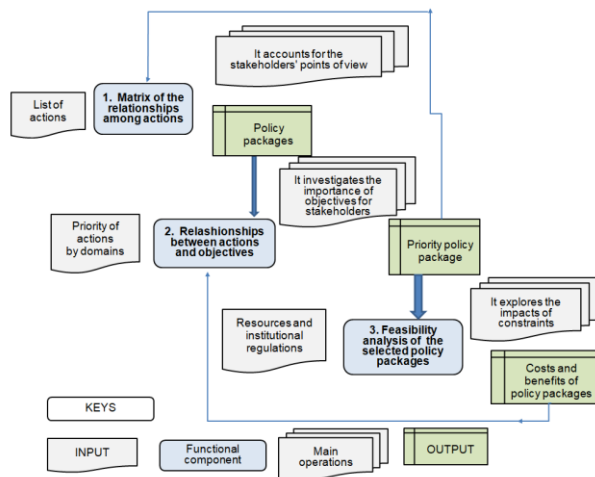


Figure 1: An overview of TANGRAM

The design of the tool is based on a few assumptions:

- there exists a certain variety of actors (stakeholders) who have a responsibility in carrying out plan's interventions;
- each plan's intervention is supposed to have an activation effect on another one. Actors are asked to identify the most likely effects, depending on their information and societal role. They are also supposed to assess the likely impact of each action domain on the plan's objectives.
- a number of constraints exist which may limit or delay the realization of certain plan's intervention.

3 Preliminary implementation steps

So far, only the first component of the tool has been developed. It identifies the candidate interventions of a policy package. A network based approach is used to investigate how selected actions can be organized in coherent sets, and observed by different viewpoints. preliminary results of its application are shown.

The graph in Fig.2, represents the network of the positive impact relationships between interventions, for actor First, an actor, a , is asked to: a) select (two) interventions in each action domain: b) value the cells of the matrix resulting from the selection, \mathbf{X} , e.g. a 1 is put where the i th intervention positively impacts the j th.

The graph in Fig.2, represents the network of the positive impact relationships between interventions. This very simple analytical step is the building block of the methodology. Several \mathbf{X} matrices can be collected and aggregated into a single matrix \mathbf{S} , which take into account the 49 valued plan's interventions.

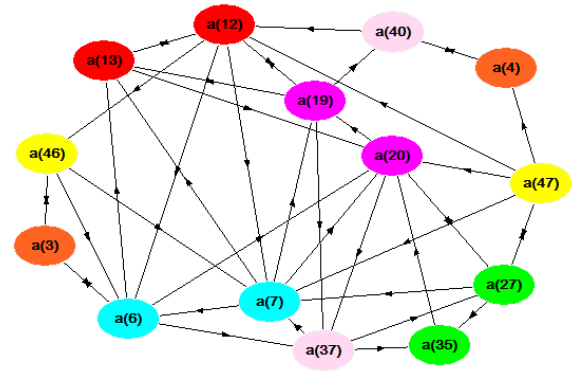


Figure 2: positive impacts in a possible selection of interventions; colors represent action domains.

All the graph-theory techniques can be applied to investigate \mathbf{S} , for example:

- to identify the mostly connected structures, which can be considered as candidate policy packages;
- to investigate second-order impacts of the selected interventions;
- to calculate the intersection of actors' networks, which highlights all and only the common relationships among interventions;
- to compare different candidate policy packages resulting the viewpoints of different actor' (e.g. peculiar structures with high connectivity that identify interventions clustering as potential policy-packages).

References

- Ashby, W. R., An Introduction to Cybernetics, Chapman and Hall, London, UK, 1956.
- Landini S., Occelli S., "Towards forward looking policy activities: a meta-model and a case study", in Barile S., Espejo R., Perko I. and Saviano M.L. (eds.) "Cybernetics and Systems. Social and Business Decisions, Routledge, London, pp. 447-452, 2019. doi.org/10.4324/9780429486982
- Occelli S. "A Meta model of regional transportation planning: the case of Piedmont", in Leone A., Carmela Gargiulo C. (eds.) Environmental and territorial modelling for planning and design, FedOAPress, Napoli, pp. 509-530, 2018. Doi 10.6093/978-88-6887-048-5
- World Commission on Environment and Development, Our Common Future, Oxford University Press, Oxford, 1987.
- Zietsman J., Ramani T.; Potter J., Reeder V., DeFlorio J. A Guidebook for Sustainability Performance Measurement for Transportation Agencies., NCHRP REPORT 708, National Academy of Sciences, 2011.
- Givoni M. "Addressing transport policy challenges through policy packaging". Transportation Research Part A: Policy and Practice, 60, pp. 1-8, 2014.

LES DISPOSITIFS RÉGLEMENTAIRES EN FAVEUR DE L'ECOMOBILITÉ, DANS UNE PERSPECTIVE DE MODÉLISATION TERRITORIALE

Valérie Bailly-Hascoët¹

Résumé. Dans le cadre de l'Action 3 (*Modèle de développement des territoires, face aux enjeux environnementaux*) du projet XTERM, il s'est agi pour l'IDIT d'apporter une contribution juridique à l'élaboration d'un outil d'aide à la décision et à l'action publiques en matière de mobilité durable². Que l'on s'attache à la modélisation des déplacements et des choix modaux sur un territoire, ou à la modélisation des effets d'une mesure publique sur ces mobilités, il paraît important d'intégrer certaines données du cadre réglementaire. En effet, c'est aussi en fonction de ce cadre réglementaire et des dispositifs qu'il prévoit que vont s'opérer les choix de mobilité et être prises les mesures publiques. La présente communication présente successivement les dispositifs d'application nationale et les dispositifs directement actionnables par les acteurs publics territoriaux, les deux catégories étant souvent complémentaires. La présentation finale tiendra compte de l'état d'avancement du projet de loi d'orientation des mobilités, laquelle devrait notamment renforcer les leviers territoriaux en faveur de l'écobilité.

Mots-clés. Ecomobilité, mobilité durable, politiques publiques, autorités organisatrices de la mobilité, droit, réglementation, fiscalité environnementale, électromobilité, covoiturage, autopartage, zones à faibles émissions

1 Introduction

A la fois pour respecter ses engagements internationaux et pour répondre à une injonction publique croissante, la France décline depuis une quinzaine d'années des politiques publiques visant à résoudre une équation complexe : répondre à un besoin croissant de mobilité (besoin lui-même exacerbé par les applications numériques facilitant la rencontre entre offre et demande) et diminuer les nuisances environnementales et sanitaires résultant de l'utilisation du véhicule individuel.

Si l'on s'intéresse plus particulièrement aux dispositifs légaux et réglementaires en faveur de l'écobilité, on

peut distinguer deux niveaux d'application. Au niveau national, il s'agit tout d'abord d'adapter le cadre légal à de nouvelles formes de mobilité jugées moins impactantes pour l'environnement (covoiturage, autopartage, véhicule autonome, ...). Il s'agit plus généralement de créer un environnement réglementaire suscitant la transition des territoires et de ses acteurs (collectivités territoriales, ménages, entreprises) vers une mobilité durable. Au niveau territorial, il s'agit de mettre à la disposition des acteurs publics des compétences et des leviers leur permettant d'agir sur la mobilité des acteurs du territoire. Ces leviers, en nombre croissant, ont un caractère incitatif ou coercitif à l'égard des publics visés. Mais, même coercitifs, ces leviers demeurent d'application volontaire par les acteurs publics dont les décisions se trouvent impactées par de multiples contraintes, y compris celle du degré de sensibilité environnementale de leur électeur. Alors que se pose avec de plus en plus d'acuité la question de la montée en puissance des mesures permettant d'accélérer la transition vers une mobilité durable.

2 Un cadre légal et réglementaire visant à favoriser la transition vers une mobilité durable

Par réformes successives, le législateur a accru les compétences des collectivités territoriales en matière de mobilité durable, tout en instaurant un environnement légal et réglementaire (suffisamment ?) propice à son développement :

- L'amélioration de certains régimes légaux : sécurisation et assouplissement du télétravail, encadrement du covoiturage et de l'autopartage entre particuliers, modification des règles de la copropriété pour faciliter l'installation de bornes dans le bâti privé,...
 - L'utilisation de la fiscalité écologique pour conduire au changement de mobilité : elle s'applique au travers de règles fiscales dissuasives ou incitatives.
- Citons tout d'abord une mesure actuellement controversée : la contribution climat énergie (CCE) ou « taxe carbone », créée en 2014, qui influence le taux de la

¹ Valérie Bailly-Hascoët est attachée de recherches à l'Institut du Droit International des Transports, E-mail: vbailly-hascoet@idit.asso.fr

² *ECOMOB-MULTIMOD (EM3) : un modèle à base d'agents pour explorer les effets de nouveaux dispositifs réglementaires sur la qualité de l'air et la mobilité quotidienne*, Salze P, Bailly-Hascoët V, Sajous P, Bertelle C, Balev S, Corson N, Couturier L, Langlois T

TICPE et renchérit le prix des énergies d'origine fossile, notamment celui du diesel et de l'essence. L'objectif affiché étant de susciter un changement dans les modes de mobilité tout en accompagnant financièrement les ménages les plus modestes dans cette transition.

Toujours en matière de fiscalité dissuasive, on peut aussi évoquer l'existence de deux écotaxes qui sanctionnent financièrement l'achat ou la location de certains véhicules particulièrement polluants : le malus pour les véhicules neufs et la taxe CO2 pour les véhicules d'occasion.

Enfin, et cette fois en matière de fiscalité incitative, citons le traitement fiscal des véhicules d'entreprise. Il s'agit d'augmenter progressivement le plafond de la déduction fiscale de l'amortissement des véhicules les moins polluants et de le minorer pour les véhicules les plus polluants.

- Les aides financières publiques directes :
 - aux collectivités territoriales pour l'installation de bornes de recharge pour véhicules électriques (VE) en voirie (not. par le biais des appels à manifestation d'intérêt ou des appels à projets ADEME)
 - aux particuliers / entreprises pour l'acquisition de véhicules moins polluants ou de vélo à assistance électrique (bonus écologique et prime à la conversion), et pour l'installation de bornes de recharge privées (certificat d'économie d'énergie). Si le champ des bénéficiaires de ces mesures a été progressivement élargi par les lois de finances successives, plaçant la France au premier rang des pays européens pour le nombre de VE, elles sont néanmoins jugées insuffisantes à l'égard des ménages dont la capacité d'investissement demeure trop limitée pour sortir de la motorisation diesel ou essence, ou tout simplement acquérir un véhicule moins ancien et donc moins polluant.

- Les incitations en faveur des salariés :
 - indemnité kilométrique vélo
 - indemnité « recharge VE » similaire à l'indemnité « carburant »
 - indemnité forfaitaire de covoiturage instaurée par la loi de finances 2019 en faveur des salariés covoiturés³
 - prise en charge par une collectivité territoriale ou Pôle emploi des frais de carburant supportés par les salariés covoitureurs⁴
 - élaboration d'un plan de mobilité par les entreprises regroupant plus de 100 travailleurs sur un même site

Le caractère facultatif (ou non sanctionnable) de ces incitations interroge quant à leur degré d'efficacité.

³ C. trav., art. L.3261-3-1. Cette indemnité facultative est cumulable avec la prise en charge obligatoire d'une partie de l'abonnement aux transports publics ou aux services publics de location de vélo

⁴ CGI, art. 81, 19° ter c inséré par LF 2019

➤ Les obligations d'équipement à la charge du secteur immobilier (construction, bailleurs) : Obligation d'équipement ou de pré-équipement des parcs de stationnement pour la mobilité électrique ou pour le stationnement sécurisé des vélos

➤ Les obligations en matière de renouvellement des flottes publiques et privées (taxis, loueurs) avec des véhicules moins polluants

➤ Les politiques publiques territoriales : durant ces vingt dernières années, les réformes législatives se sont multipliées, donnant plus de compétences aux acteurs territoriaux (communes, EPCI, régions) pour gérer leur territoire, et renforçant leurs obligations en matière de développement durable (SRADETT, PCAET...). Les transports sont devenus les « mobilités » et leur caractère durable figure parmi les principaux objectifs à atteindre, sur leur périmètre d'intervention, par les autorités organisatrices de la mobilité.

3 Des leviers actionnables au niveau territorial

Sont recensés, les dispositifs de politiques publiques qui sont actionnables au niveau local :

➤ Création de nouveaux services publics de mobilité (autopartage, covoiturage, MaaS) et amélioration de l'accès à ces services

➤ Traitement privilégié de certains véhicules : expérimentation de voies de circulation réservées aux transports par car ou au covoiturage, places de stationnement réservées aux véhicules en autopartage

➤ Adaptation de la voirie aux mobilités douces (zone 30, double-sens cyclable, pistes cyclables, protection des passages piétons...)

➤ Aides financières locales à l'acquisition de véhicules moins polluants ou à l'installation de bornes. Dans la mesure où elles se cumulent avec les aides nationales, les collectivités dispensatrices les conditionnent généralement à un plafond de ressources pour aider principalement les ménages à bas revenu

➤ Instauration d'une zone à faible émission (vignette Crit'Air). Démarche seulement volontaire actuellement, elle devrait se généraliser aux villes les plus polluées après l'adoption de la LOM

➤ Instauration d'un péage urbain / péage urbain inversé : solution inappliquées en France pour des raisons sociales et de protection des données personnelles.

Tout comme la mise en place d'une mesure d'écomobilité ne peut se faire *ex nihilo* mais en fonction du cadre réglementaire existant, la modélisation devrait aussi être capable d'intégrer ce cadre réglementaire et les dispositifs existant. Car c'est notamment en fonction de ceux-ci que les acteurs vont réagir, s'adapter à la mesure

mise en place. Ainsi par exemple, l'instauration d'une zone à faible émission aura certes des effets immédiats sur la qualité de l'air de la zone protégée, mais elle peut aussi avoir des effets négatifs indirects si les dispositifs d'aide financière existants sont insuffisants pour amener les acteurs affectés par cette mesure à changer leur mode de déplacement.

Références

- [1] Projet de loi d'orientation des mobilités, Enregistré à la Présidence du Sénat le 20 février 2019 <http://www.senat.fr/leg/pjl18-157rec.html>
- [2] Projet de Stratégie de développement de la mobilité propre 2019-2023 2024-2028) <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Projet%20PPE%20pour%20consultation.pdf>
- [3] Stratégie de développement de la mobilité propre (SDMP 2016-2018) annexée à la Programmation Pluriannuelle de l'énergie (PPE 2016-2018) <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Strat%C3%A9gie%20d%C3%A9veloppement%20mobilit%C3%A9%20propre.pdf>
- [4] Loi n°2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000031044385&fastPos=1&fastReqId=270140654&categorieLien=id&oldAction=rechTexte>
- [5] Loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000022470434&fastPos=2&fastReqId=1211580112&categorieLien=id&oldAction=rechTexte>
- [6] Loi n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000020949548&fastPos=2&fastReqId=1286368511&categorieLien=id&oldAction=rechTexte>

Remerciements

Cette étude de recherche est financée et soutenue par l'Union Européenne à travers le Fonds Européen de Développement Régional (FEDER) et par la Région Normandie.

Le système d'électromobilité norvégien : un modèle pour la France ?

Entre pertinence des indicateurs et limites de la comparaison internationale

Elodie Castex¹, Julia Frotey² et Philippe Deboudt³

Résumé. Avec 5% du parc automobile et plus de 20% des ventes de véhicules neufs en 2018 (OFV 2018), la Norvège se singularise par un taux de pénétration du Véhicule Electrique (VE) parmi les plus importants au monde et peut se targuer d'avoir développé le premier "marché de masse" du VE d'Europe. A l'aide de données recueillies récoltées lors d'une mission de terrain menée en Norvège au 2^{ème} trimestre 2018, cette communication propose d'interroger le modèle norvégien en matière d'électromobilité, d'en analyser les leviers et les limites. La Norvège est souvent citée en modèle pour décrire la lenteur ou l'échec des politiques françaises en matière de mobilité électrique. Dans ce contexte, l'enjeu de cette communication réside en une clarification des termes du débat, de manière à souligner la pertinence et les limites du modèle norvégien, avant de questionner sa possible transposition à d'autres pays, notamment en France.

Mots-clés. Electromobilité, Acteurs, système, transposition, France, Norvège.

1 Analyser le déploiement des bornes de recharge : la méthode du projet MOUVE

Début 2017, le projet de recherche MOUVE (MObilité et Usage des Véhicules Electriques, CPER ISI-MESHS, coord. E. Castex)⁴ est lancé en région Hauts-de-France. Ce dernier vise à la structuration d'une équipe de chercheurs mais également d'entrepreneurs et de collectivités locales volontaires, désireux de s'associer pour analyser un équipement public nouveau : l'infrastructure de recharge pour véhicules électriques (IRVE). L'enjeu étant de comprendre les logiques spatiales propres à la diffusion régionale de cet équipement public, qui est au centre d'une polémique relative à son utilité sur l'espace public [1].

Le projet MOUVE vise ainsi à comprendre quels acteurs se sont lancés dans le déploiement d'IRVE, où se localisent ces bornes et quelle est leur niveau d'utilisation, en Hauts-de-France.

Les premiers résultats du projet MOUVE ont permis de distinguer, via la constitution d'une base de données géoréférencées, le type et la répartition des bornes pré-

sentes sur le territoire : ainsi, l'on repérait en 2018, 58% de bornes publiques sur le territoire des Hauts-de-France et une part non négligeable de bornes privées installées sur initiative des grandes surfaces commerciales [2].

L'étude régionale a également permis de décrire des réseaux de bornes aux configurations spatiales particulières, liées aux choix de gouvernance des acteurs [3].

Concernant leur usage enfin, force est de constater un usage limité et encore ponctuel [4]. Comment expliquer le faible usage des bornes en région et plus largement en France ? Pour répondre à cette question, les médias et les hommes politiques renvoient de manière récurrente au modèle norvégien, un modèle à suivre qui permettrait à la France de combler son retard et ses lacunes... Pourquoi, en Norvège, les bornes publiques sont-elles très prisées et insuffisantes en nombre ? Quelle est la recette miracle du modèle norvégien d'électromobilité ? Dans quelle mesure est-elle transposable en France ? Nous proposons ainsi, dans cette communication, de définir ce modèle et de fournir des éléments de réponse relatifs au débat actuel opposant la réussite norvégienne à l'échec français du déploiement d'IRVE publiques.

2 Le recours à l'analyse comparative France-Norvège

2.1 Diffusion de l'électromobilité en Europe : la recherche de « bonnes pratiques »

La Norvège est un pays précurseur et il présente le premier parc de véhicules électriques en Europe. Derrière la Norvège, les Pays-Bas, l'Angleterre, l'Allemagne et la France sont en compétition mais ont démarré des politiques ambitieuses seulement à partir de 2010 alors que le marché s'établissait déjà en Norvège [5]. Le pays a intégré très tôt l'électromobilité dans ses actions de lutte contre le changement climatique et a effectué les premiers bilans de sa politique de mobilité dès 2013 [6].

L'intérêt est bien d'étudier un pays hors zone Euro qui, à la différence de la France, mène une politique incitative concernant l'électromobilité sans impulsion ou recommandation issues du Parlement Européen : déjà en 2014, on ne compte pas moins de 900 points de charge à Oslo [7]. La Norvège commence également à expérimenter certains effets pervers issus d'un système développé d'incitations, parmi lesquels la surcharge des couloirs bus par « les véhicules dits propres » [8]. Ces tensions avec les autres automobilistes et les transports en commun

¹ Elodie Castex est Maître de Conférences, HDR, au laboratoire Territoires, Villes, Environnement & Société (TVES, EA 4477)

² Julia Frotey est Doctorante, même adresse.

³ Philippe Deboudt est Professeur des Universités, même adresse.

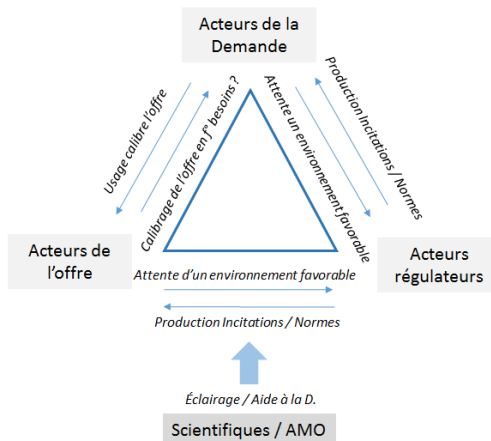
⁴ MObilité et Usage des Véhicules Electriques, CPER ISI-MESHS 2017-2018, coord. E. Castex : <http://mouve.univ-lille.fr/>

sont un retour d'expérience précieux pour les politiques françaises.

Nous posons ainsi comme hypothèse que les problèmes actuels engendrés par une politique d'incitations ambitieuse envers le véhicule électrique, risquent de survenir en France dans un futur proche. A partir de l'expérience de la Norvège, nous avons recueilli un ensemble d'enseignements afin d'anticiper les futurs problèmes liés à une montée en puissance du véhicule électrique dans le système de mobilité français.

2.2 Méthodologie d'enquête en Norvège

Il est apparu nécessaire, dans un premier temps, de repérer le système d'électromobilité local et les acteurs qui le composent en mettant à jour les catégories d'acteurs et les typologies existantes sur le sujet [1] et [9]. Dix acteurs ont ainsi été interrogés en Norvège en mai 2018, chacun représentatif d'une catégorie d'acteurs : acteur de la demande (usagers), de l'offre (côté infrastructure et véhicules), acteurs régulateurs (autorités publiques, Etat) et observateurs (scientifiques et AMO)



[Figure 1].

Figure 1: Classification du système d'acteurs en Norvège
D'après Sadeghian, S., 2013, et Sajous, P. et Bailly-Hascoët, V., 2017. Réalisation : Projet MOUVE, 2018

3 Pertinences et limites de la comparaison France-Norvège

3.1 L'argument décisif : un véhicule électrique moins cher qu'un véhicule thermique

Dans cette partie, nous proposons de comparer les systèmes français et norvégiens d'incitations à l'achat.

Il est ainsi apparu évident au cours de cette mission, que le « miracle » norvégien s'expliquait par la mise en place d'un système d'incitations efficace, divisé en trois catégories (réduction du coût d'achat, de possession et d'usage d'un véhicule électrique). En conséquence, le prix d'achat d'un véhicule électrique en Norvège est égal

voir inférieur à celui d'un véhicule thermique traditionnel [2].

En France, les mesures d'incitation portent quasiment exclusivement sur la réduction du coût d'achat (bonus écologique et prime à la conversion) et les mesures d'incitation locales (utilisation des voies bus par exemple) si elles sont autorisées par la loi, ces dernières n'ont pas encore été expérimentées.

3.2 Des résistances à la diffusion de l'innovation en France

La principale différence observée entre l'écosystème d'acteurs français et norvégien réside dans l'absence, en Norvège, d'une industrie automobile puissante et ancienne. D'après les acteurs interrogés, les norvégiens seraient plus « neutres » vis-à-vis du choix de leur véhicule et aucun enjeu économique ne sous-tend l'achat d'un véhicule électrique (perte d'emplois dans le secteur, pression et lobby de l'industrie automobile...).

Remerciements

Cette recherche est financée et soutenue par la Maison Européenne des Sciences de l'Homme et de la Société de Lille (MESHS), dans le cadre de son appel à projets structurants 2017-2018.

Références

- [1] Sadeghian S., 2013, « Développer la mobilité électrique : des projets d'acteurs au projet de territoire ». Thèse de doctorat en Architecture, aménagement de l'espace. Laboratoire LVMT, Université Paris-Est, 447 p
- [2] Frotey J. et Castex E., 2017, *Enjeux régionaux de la diffusion spatiale d'un équipement de mobilité : l'infrastructure de charge pour véhicules électriques. L'exemple des Hauts-de-France*. Géotransports n°10, p 41 à 61. <http://geotransports.fr/n-10/>
- [3] Frotey J. et Castex E., 2018, *La transition énergétique par le véhicule électrique : analyse de deux modèles de gouvernance de projets d'électromobilité en Hauts-de-France, le cas des ex-régions Nord-Pas-de-Calais et Picardie (France)*. Riurba 2018/Numéro 5 <http://riurba.net/Revue/la-transition-energetique-par-le-vehicule-electrique-ana-lyse-de-deux-modeles-de-gouvernance-de-projets-delectromobilite-en-hauts-de-france-le-cas-des-ex-regions-nord-pas-de-calais-et-picardie/>
- [4] Audouit C. et Frotey J., 2018, *Présentation des premiers résultats issus de l'enquête menée auprès des utilisateurs dans les Hauts-de-France*. Séminaire de clôture du projet MOUVE (MOBilité et Usage des Véhicules Électriques, CPER ISI-MESHs, coord. E. Castex), 23/10/2018.
- [5] Tietge U., Mock P., Lutsey N., Campestrini A., 2016, "Comparison of leading electric vehicle policy and deployment in Europe". White Paper of the International Council on Clean Transportation Europe, 81p. Available on http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_EVpolicies-Europe-201605.pdf
- [6] Figenbaum Erik, Kolbenstvedt Marika, 2013, *Electromobility in Norway – experiences and possibilities with Electric vehicles*. Report for the Institute of Transport Economics (TOI), 170p. Report available online : <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=33828>
- [7] Lorentzen E., Haugneland P., Bu C., Hauge E., 2017, *Charging infrastructure experiences in Norway - the worlds most advanced EV market*. EVS30 International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium 1, 11p <https://wpstatic.idium.no/elbil.no/2016/08/EVS30-Charging-infrastructure-experiences-in-Norway-paper.pdf>
- [8] Figenbaum E., 2018, *Electromobility status in Norway : Mastering long distances – the last hurdles to mass adoption*. TØI Report 1627/2018, Oslo 2018, 71 pages <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=47474>
- [9] Sajous P., Bailly-Hascoët V., 2017, *Electromobilité : acteurs, structures en cours*. Etude à partir du cas haut-normand, Revue Transport Sécurité, RTS, volume 2017, issue 1-2, p1- 21 <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01670588/document>

Optimisation d'un réseau de recharge de véhicules électriques, application au centre-ville de Compiègne

Molines Nathalie, Richard Gabrielle, Sechilariu Manuela, Martel-Flores Hipolito, Locment Fabrice, Baert Jérôme¹²

Abstract. As the main contributor in terms of greenhouse gas emissions, the transport sector is one of the main drivers of reducing EGES. The increase in the share of electric vehicles contributes to this energy transition.

However, its development can only be imagined with the deployment of a network of electric vehicle charging (EV) infrastructures that is sufficient and the least impactful on the entire power grid. In this context, the Mobelcity project, funded by ADEME, is considering the development of an innovative energy system to recharge EVs. This system is based on a smart micro-grid that optimally manages energy flows as well as renewable energies.

At the urban scale, the location of the charging stations must be chosen according to the morphological conditions of the urban space, the different commercial polarities, and the residential polarities. We will present in this article the method developed to analyze the adaptability of a territory to the installation of charging stations. This method combining GIS and multi-criteria analysis has been implemented in the city center of Compiègne.

Keywords. Electromobility, energy renewable, charging station placement, GIS, sustainable urban planning

1 Introduction

European policies of recent years are favorable to the development of electromobility [1]. We are witnessing a growing increase in the number of electric cars and more than 160,000 individual electric vehicles have been registered in France since the launch of the market in 2010. Despite this strong growth; electric vehicles represent only a small part of individual vehicles. Several surveys explain this by three main elements. The first two are cultural and economic [2]. and the third is rather practical since it concerns the accessibility of charging stations.

¹ Author1, Author3, Author 4 and Author 5 are with AVENUES EA 7284, Sorbonne University, Université de Technologie de Compiègne, Rue du Dr Schweitzer, 60203, Compiègne, France. E-mails: Nathalie.molines@utc.fr, Manuela.sechilariu@utc.fr, hipolito.martell-flores@utc.fr, fabrice.locment@utc.fr

² Author2 and author6 are SYSTRA Urban/rail public transport civil engineering, 72 Rue Henry Farman, 75015 Paris, France Email : jbaert@systra.com

The Mobelcity project, studies the development and implementation of an innovative energy system in an urban space [3]. This system is based on an intelligent micro-grid that optimally manages energy flows.

The first stage of this research project led to the development of a territory analysis method for the implementation of charging stations.

It is this multi-criteria and multiscale method that we propose to present in this communication.

After stressing the importance of the optimization of public charging network in the development of electromobility, and having presented the main types of methods used, we will expose the developed method under Mobelcity and its application the center of Compiègne.

2 The location of charging stations, a key point in the spread of electromobility..

Several types of optimization models of the network of charging stations have already been proposed.

Some have addressed this optimization based on the capacity of the power grid to absorb this additional demand ref. Others, based on the theory of diffusion of innovations developed by Everett M. Rogers [4] have relied on the location of "typical users" [5].

Finally, a last group of researchers analyzes the uses of a territory in order to identify the types of loads and the locations that would be most suitable [6] [7].

The methodology developed in the framework of Mobel city falls into this third category It is divided into two stages, firstly, thanks to a GIS, the entire territory of studies is evaluated according to three components:

- analysis of constraints (regulatory or environmental),
- identification of areas of interest for the positioning of different types of charging stations

The crossing of these three analyzes makes it possible to identify positioning zones to be favored, according to the type of refill envisaged.

In a second step, a detailed analysis of the street profiles is carried out in order to locate those who will be able to accommodate a charging station.

3 Application in city center of Compiègne

The method was tested on a downtown Compiègne, a town of 40000 inhabitants located south of the department of Oise.

The diagnosis of the potentialities of the territory was made by crossing several sources of GIS data;

- Regulatory data: PLU, ZPPAUP ...
- Population data (density, average income ...) taken from the INSEE grid³;
- Business data from SIRENE databases⁴. This base allowed us to refer companies according to their number of employees but also to establish a typology of amenities based on the average parking time they generate.
- Other data such as the locations and characteristics of the car parks, the locations of public services ... were also taken into account.

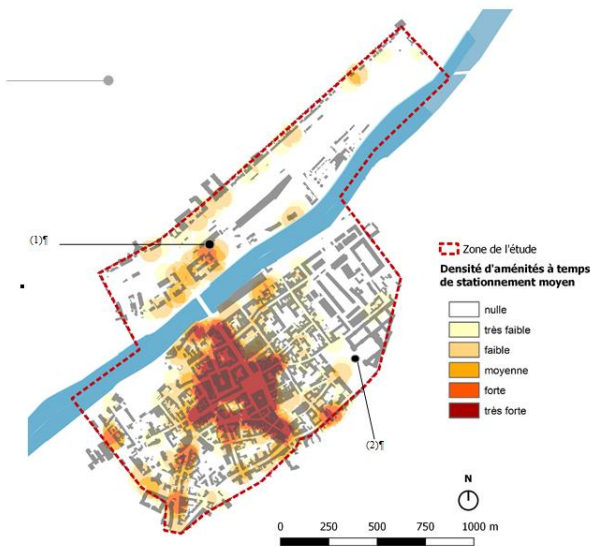


Figure 1: Analysis of the density of amenities with short parking time

In the second phase, a detailed multicriterion analysis of the streets was undertaken in order to analyze their capacity to host a charging station. Several limiting factors were analyzed: width of the sidewalk, type of parking, and presence of a bike path ... Three categories were identified: "unfit", "acceptable" and "preferable".

³ <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2520034>
⁴ <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/base-sirene-des-entreprises-et-de-leurs-etablissements-siren-siret/>

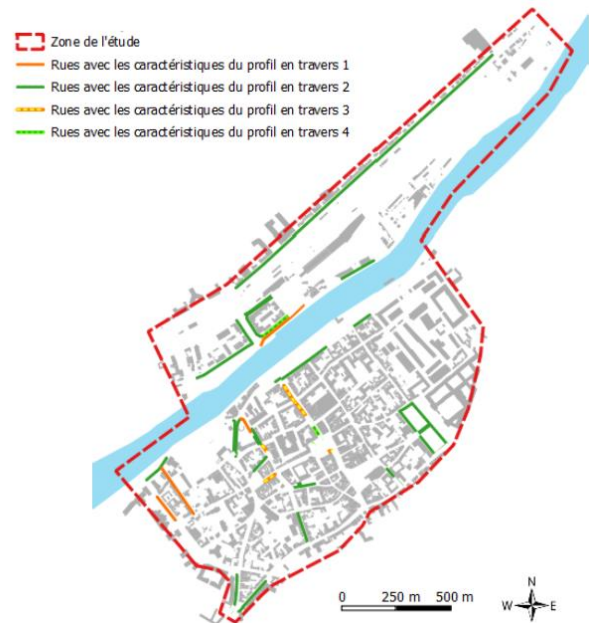


Figure 2: The streets most conducive to the implementation of IRVEEs in Compiègne.

4 Conclusion

Through the analysis of employment data, population, amenities and main routes, we were able to identify, for each car park and street segment, the interest presented for the implementation of a certain type charging stations - normal, fast, fast.

A number of limitations have however been highlighted in the proposed methodology. First of all, in order to differentiate nearby locations, the input data must be as thin as possible and available in a wider area than the study area to avoid edge effects. In addition, other data could have benefited from the analysis, such as parking statistics, which are often available in paid-for zones. The photovoltaic potential will also have to be integrated into the analysis.

The analysis carried out nevertheless makes it possible to illustrate an urban analysis methodology, which can serve as a basis for a finer reflection of positioning of terminals according to the number of terminals desired (and therefore their optimal positioning), their capacity, or insertion constraints.

Acknowledgment

The research for this work was supported, by the french Environment and Energy Management Agency (ADEME).

References

- [1] J. Frotey and E. Castex : Enjeux régionaux de la diffusion spatiale d'un équipement de mobilité, l'infrastructure de charge pour véhicules électriques. L'exemple des Hauts-de-France, *Géotransport* n°10, pp 41-59, 2017
- [2] U. Eberle and R. Helmolt. Sustainable transportation based on electric vehicle concepts: a brief overview. In *Energy & Environmental Science* 3 (6), p. 689, 2010
- [3] M. Sechilariu, J. Baert , F. Locment, H. Martell Flores , N. Molines , G. Richard , C. PRONELLO, C. HENRIOT, "Smart Microgrid and Urban Planning for Better Electromobility", *IEEE VPPC 2017*, 11-14 dec 2017, Belfort – France, 5p..
- [4] M. Rogers, *Diffusion of innovations*, The free press, third edition, 453p, 1983
- [5] Heyman, F; Pereira, C; Miranda, V; Soares, FJ; 2017 Spatial load forecasting of electric vehicle charging using GIS and diffusion theory *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe, ISGT-Europe 2017*, Torino, Italy, September 26-29, 2017
- [6] Zhou Q., C. Sun, G. Chen and R. Liao. 2002 GIS Based Distribution System Spatial Load Forecasting and the Optimal Planning of Substation Location and Capacity. *IEEE Trans. Power Syst*, Powercon 2002, Vol. 2 , pp. 885-889,
- [7] S. Wagner, M. Götzinger, D. Neumann, Optimal location of charging stations in smart cities: a points of interest based approach, *Proceedings of The 34th International Conference on Information Systems (ICIS)*. Milan, Italy (2013), December

LA MODELISATION DES PRATIQUES DE RABATTEMENT SUR LES GARES FERROVIAIRES

Sophie Hasiak, Nicolas Juste²

1

Résumé. Un travail de modélisation des parts modales de rabattement sur les gares est mené afin de pouvoir proposer aux collectivités une alternative à la réalisation d'enquête terrain. Il propose deux types de modèles (modèles bêta et SUR) qui convergent vers des résultats d'estimation proches.

Mots-clés. accessibilité, gare ferroviaire, part modale, modélisation économétrique, profil gare, Ile de France.

1 Introduction

Dans le cadre des enjeux de mobilité durable, les politiques de valorisation de l'usage du ferroviaire s'appuient sur des leviers d'amélioration de la qualité de service offerte par les trains (fréquence, confort, régularité) et de l'accessibilité aux nœuds ferroviaires. Cette accessibilité est un facteur déterminant dans le choix du train (cf. [2]). Sa connaissance est donc un enjeu important pour les acteurs territoriaux.

Deux types de travaux abordent la connaissance des comportements d'accès aux gares. Le premier type repose sur de l'analyse statistique descriptive des pratiques de rabattement recueillies sur le terrain. Il suppose la réalisation d'enquêtes auprès des usagers des trains (cf. [11]). Le deuxième type de travaux repose sur de la modélisation. Elles sont essentiellement développées par des chercheurs hors France. Ces travaux reposent fortement sur l'analyse des déterminants du choix de mode de rabattement en ayant recours à des fonctions de maximisation de l'utilité (cf. [1, 2, 4, 5, 6]). L'objectif de ces travaux consiste surtout à mesurer l'influence de différents types de variables dans ce choix.

Partant de ce constat, notre recherche se veut aborder la question des pratiques de rabattement de manière opérationnelle. Il s'agit de pouvoir aider les collectivités locales en leur proposant un outil d'estimation des pratiques sur des gares existantes ou en projet permettant d'éviter le déploiement d'enquêtes spécifiques, certes plus fiables mais qui peuvent constituer un poste lourd dans le budget d'études. Elle s'articule avec une demande locale souhaitée par la Direction Régionale et Interdé-

partementale de l'Équipement et de l'Aménagement d'Ile-de-France (DRIEA) dans le cadre du projet de Grand Paris. Un premier outil est ici construit sur l'hypothèse que les pratiques d'accès aux gares sont fonctions du profil de la gare, tant en termes de transport que des caractéristiques de son environnement.

2 Méthodologie

Le terrain d'étude est la région Ile-de-France, irriguée par un réseau ferroviaire dense. L'échantillon est composé de 467 gares franciliennes situées hors Paris intra-muros.

La définition du profil de gare s'est appuyée sur les conclusions des travaux scientifiques ayant souligné l'effet de l'offre de transport (cf. [1, 3, 6, 8]) et de l'environnement de la gare sur les choix modaux d'accès (cf. [1, 4, 5, 8, 9, 10]). Elle a abouti à la mise en place d'un référentiel d'indicateurs en fonction des données qui ont pu être mobilisées et exploitées. Ainsi, l'offre de transport est ici caractérisée par des indicateurs de fréquence des trains, de desserte de la gare par les transports collectifs. L'environnement de la gare est défini à deux échelles : un territoire de proximité (rayon de 800m) et le territoire d'attractivité estimé sur la base de la distance maximale de rabattement observé (8e décile). Cet environnement est caractérisé par des indicateurs de densité (densité de population, densité d'urbanisation, densité de logements) et de type d'habitat (part de logements collectifs).

L'ambition initiale était de pouvoir évaluer les pratiques modales de rabattement tous modes. Mais le nombre d'observations pour un mode donné a conduit à limiter cette ambition. En particulier, alors que toutes les gares du périmètre sont accessibles en transports collectifs (TC), seules 25 % de l'échantillon disposent d'une desserte TC ferrée. De ce fait, cette faiblesse de l'échantillon n'a pas permis de modéliser la part modale de rabattement sur une gare par un mode ferré. Par ailleurs, la faiblesse du nombre de déplacements d'accès en vélo (part modale moyenne évaluée à moins de 2%) a également écarté toute possibilité de travail sur ce mode.

Aussi, le travail présente les démarches modélisatrices entreprises pour estimer les parts modales de la voiture,

¹ Sophie Hasiak et Nicolas Juste sont membres du Cerema Nord Picardie, Lille, France. E-mails: sophie.hasiak@cerema.fr; nicolas.juste@cerema.fr

de la marche, des transports collectifs tous modes, dont celle des transports en communs routiers.

3 Modèles

Pour tester la sensibilité des modèles, le choix s'est porté sur l'utilisation de deux méthodes s'appuyant sur des hypothèses distinctes. En particulier chaque méthode s'adapte à certaines spécificités des données utilisées. Sur la base de ce choix, l'obtention de résultats similaires issues des modélisations garantit leurs robustesses.

3.1 Modélisation indépendante des parts modales de rabatement

Cette première approche repose sur une modélisation des parts modales des modes considérés indépendamment les uns des autres. Chaque part est une proportion comprise entre]0;1[. Ferrari et al. (cf [7]) montrent que ce type de variable est par nature hétéroscédastique (la variance baisse à mesure que l'on s'approche des bornes de l'intervalle) et possède une fonction de densité non-symétrique. Pour lever ces deux problèmes, ils proposent de poser comme hypothèse que les résidus du modèle suivent une loi bêta de paramètre μ (l'espérance) et Φ (paramètre de précision) et d'estimer les paramètres du modèle par la méthode du maximum de vraisemblance. La fonction de log-vraisemblance s'écrit :

$$l_i(\mu_i, \Phi) = \log \Gamma(\Phi) - \log \Gamma(\mu_i, \Phi) - \log \Gamma((1-\mu_i)\Phi) + (\mu_i\Phi - 1) \log y_i + [(1-\mu_i)\Phi - 1] \log(1 - y_i)$$

avec $g(\mu_i) = x_i^T \beta$, x_i les variables indépendantes du modèle, $\beta_T = (\beta_1, \dots, \beta_k)$ et Φ les paramètres à estimer, $g:]0;1[\rightarrow \mathbf{R}$ étant une fonction de transfert admissible. Ici, c'est l'inverse de la fonction de répartition de la loi

normale centrée réduite (probit) : $\mu_i = \int_{-\infty}^{x_i/\beta} \Phi(s) ds$

Cette approche possède quelques limites. Les coefficients ne sont pas directement interprétables en tant que modification marginale de la part modale et elle ne permet pas de tenir compte du lien existant entre les différentes parts modales.

3.2 Modélisation conjointe des parts modales

La deuxième approche considère que chacune des parts modales ne peut être considérée comme indépendante des autres, parce que leur somme est forcément comprise entre 0 et 1. Il est réaliste de considérer que certains facteurs inobservés influencent conjointement les termes d'erreurs de chacune des équations. Les estimer séparément ne permet pas d'obtenir des estimateurs efficaces. La procédure appropriée est alors d'utiliser les estimateurs « SUR » (Seemingly Unrelated Regression) (cf. [12]), les équations sont estimées sous forme empiriques :

$$\begin{bmatrix} \tau_{VP} \\ \tau_{MAP} \\ \tau_{TC} \\ \tau_{bus} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{VP} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & X_{MAP} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & X_{TC} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & X_{bus} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_{VP} \\ \beta_{MAP} \\ \beta_{TC} \\ \beta_{bus} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{VP} \\ \varepsilon_{MAP} \\ \varepsilon_{TC} \\ \varepsilon_{bus} \end{bmatrix}$$

Pour tenir compte de la corrélation des termes d'erreur, on utilise la méthode des moindres carrés quasi-généralisés. Les estimateurs s'écrivent :

$$\hat{\beta} = (X^T(\hat{\Sigma} \otimes I_N)X)^{-1} X^T(\hat{\Sigma} \otimes I_N)^{-1} y$$

$$\widehat{cov}(\hat{\beta}) = (X^T(\hat{\Sigma} \otimes I_N)X)^{-1}$$

Où $\hat{\Sigma}$ est la matrice de variance-covariance des erreurs estimées à partir d'une première régression par MCO, I_N la matrice identité de taille N (le nombre d'observations).

Cette approche a l'avantage de fournir des paramètres directement interprétables en termes de modification marginale de la part modale. Toutefois, nous perdons la possibilité d'émettre une hypothèse sur la loi de répartition des résidus.

4 Résultats et discussion

Les travaux aboutissent à des modèles qui permettent, de reconstituer correctement une situation observée en Ile de France, avec des résultats très similaires, tant sur la significativité des variables que sur leur pouvoir de prédiction. Les modèles donnent en effet de bons coefficients de détermination R^2 pour la voiture, avec 0,758 pour le modèle bêta et 0,779 pour le modèle SUR et pour la marche (0,731 et 0,723). Ils sont satisfaisants pour les TC (0,644 et 0,656) et les bus/autocars (0,561 et 0,532).

Ces deux modèles mettent en avant des variables fortement explicatives, telles que la fréquentation de la gare, son niveau d'offre (fréquence, accès possible en service ferré), la distance maximale de rabatement et l'importance de l'espace urbanisé autour de la gare ou au sein de son aire d'influence.

Cette modélisation des parts modales de rabatement sur une gare a abouti à la mise à disposition de deux modèles utilisables sur un territoire donné. La traduction en un outil simplifié se fait sous une feuille de calcul dans laquelle les données d'entrée sont celles du profil de la gare. La première utilisation devrait être faite pour éclairer les enjeux d'accessibilité sur les projets des gares du Grand Paris. Mais la transposition des résultats de parts modales d'un territoire à l'autre n'est pas immédiate puisque la morphologie de l'Ile-de-France et les pratiques de déplacements des Franciliens diffèrent de ceux de province. Par contre la méthodologie employée est quant à elle transposable à tout territoire. Par ailleurs, une deuxième étape du travail de recherche enclenchée consiste à prendre en compte l'influence des caractéristiques des résidents des environnements des gares sur ces estimations de parts modales, en considérant une aire d'in-

fluence fluctuante selon le type de gares.

Références

- [1] A. Bergman, J. Gliebe, J. Strathman, "modelling access mode choice for inter-suburban commuter rail", *Journal of Public Transportation*, vol. 14(4), pp. 23-42, 2011.
- [2] M. Brons, M. Givoni, P. Rietveld, "Access to railway stations and its potential in increasing rail use", *Transportation Research Part A*, vol. 43(2), pp. 136-149, 2009.
- [3] R. Cervero, A. Round et al., "Rail access modes and catchment areas for the Bart system", working paper UCTC n°307, 1995.
- [4] R. Cervero, "Built environment and mode choice : toward a normative framework", *Transportation Research Part D* (7), pp. 265-284, 2002.
- [5] V. Chakour, N. Eluru, "Analyzing commuter train user behavior :a decision framework for access mode and station choice", *Transportation*, vol.41(1), pp. 211-228, 2014.
- [6] G. Debrezion, E. Pels, P. Rietveld, "modelling the joint access mode and railway station choice", *Tinbergen Institute Discussion Paper*, 2007.
- [7] S. Ferrari, F. Cribari-Neto, "Beta regression or modelong rates and proportions", *journal of applied statistics*, 2004.
- [8] M. Givoni, P. Rietveld, "The access journey to the railway station and its role in the passengers satisfaction in the rail travel", *Elsevier, transport policy*, vol.14, pp. 357-365, 2007.
- [9] K. Halldorsdottir, O. Nielsen, C. Prato, "home-end and activity-end preferences for access and egress from train stations in the Copenhagen region", 95th annual meeting of the transportation research board, Washington DC, 2016.
- [10] M.J.N. Keijer, P. Rietveld, "how do people get to the railway station? The Dutch experience", *Transportation planning and technology*, vol. é", pp. 215-235, 2000.
- [11] A. L'Hostis, E. Alexandre, et al, "Concevoir la ville à partir des gares", rapport final du Projet BahnVille 2, 2009.
- [12] A. Zellner, "an efficient method of estimating seemingly unrelated regressions and tests for aggregation bias", *journal of the American statistical association*, vol.57, pp. 348-368, 1962.

HERDERS MOBILITY GPS TRACKING: INSIGHTS FROM NOVEL TRAJECTORY DATA

Kati Kraehnert,¹ Melinda Vigh,¹ Christian Knoth,² Henning Teickner,²
Myagmartseren Purevtseren,³ Munkhnaran Sugar,³ Edzer Pebesma²

Abstract. Our study provides insights on one particular aspect of human mobility: We explore how nomadic households adjust their movements to cope with an extreme weather event. The novelty of our approach lies in combining precise household trajectories, obtained from GPS data recorded over a 9-month period, with socio-economic data from the same households. The identification strategy takes advantage of unusual circumstances: While recording locational information, an extreme winter event occurred that caused mass livestock deaths and varied strongly in its spatial intensity. Our focus is on movements that households undertake with their livestock across large distances to less affected areas during the midst of the winter. Results show that living in a severely affected area strongly decreases the probability to conduct a movement during the extreme event. While in severely affected areas livestock was at risk of starving and freezing, the very same climatic conditions – high snow depth and low temperatures – constrained mobility. Wealth in livestock is a strong predictor for conducting a movement. However, neither land rights, nor experience in herding influence households’ movement patterns. The negative effect of the extreme winter on the timing of the movement is strongest for households with smaller herds.

Keywords. Extreme weather event, GPS data, livestock, mobility, nomads, Mongolian herder

1 Introduction

Our study provides novel insights on one particular aspect of human mobility: We explore how nomadic households adjust their movements to cope with an extreme winter event. Our study draws on unique household-level data. The nomadic movements of 400 herding households were recorded hourly with GPS loggers over a 9-month period (figure 1). From this data, we calculate household-level trajectories that inform when and where

a household moved over time. Data analysis was conducted in the open-source software environment R [1], using the trajectories package [2] for handling the specific trajectory data type. From the same households, socio-economic survey data were collected, providing information on herd size, household labor supply, experience in herding, and land tenure, among other things. In Mongolia and other parts of Central Asia, an extreme event take the form of extraordinary cold and snowy winters that cause mass livestock deaths, referred to as “dzud” disaster. In fact, not only was the winter of 2015/16 extreme; its intensity also varied strongly within the survey region. Given that animal husbandry is the main source of sustenance of the local population, such extreme winters pose a significant risk for poverty and outmigration to urban areas [3,4].

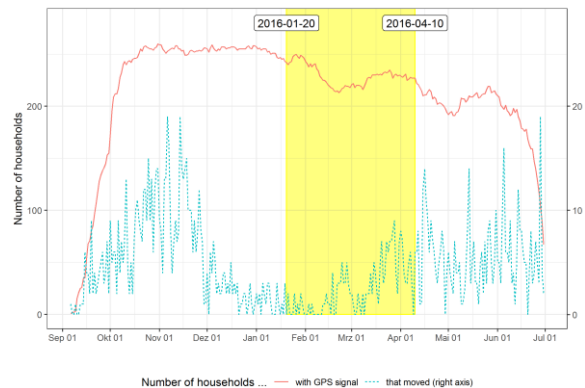


Figure 1: Number of households with non-missing GPS signal and campsite movement per day over time

2 Method and design

We first investigated whether households moved their campsite at least once during the height of the winter. We estimated the following model:

$$Pr(Y_i) = \alpha + \beta D_i + G_i \gamma_i + X_i \delta_i + L_i \varphi_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

where Y_i represents a dummy variable indicating that at least two different campsites are observed for household i . D_i is a dummy variable indicating whether a household lives in a district classified under risk of *dzud*. G_i contains geographical characteristics of the campsite: elevation and landscape type. X_i contains socio-economic charac-

¹K.Kraehnert and M.Vigh are with German Institute for Economic Research, DIW Berlin, Germany. E-mails: kkraehnert@diw.de, mvigh@diw.de ;

²Christian Knoth, Henning Teickner and Edzer Pebesma is with Institute for Geo Informatics, University of Muenster, Germany E-mails: christian.knoth@uni-muenster.de, h_teic01@uni-muenster.de, edzer.pebesma@uni-muenster.de;

³Myagmartseren Purevtseren and Munkhnaran Sugar is with Department of Geography, National University of Mongolia, Mongolia E-mails: myagmartseren@num.edu.mn and munkhnaran@num.edu.mn

teristics of the household of the *Coping with shocks* [5] survey. L_i contains district-specific controls: population density and distance to the province center. ε_i stands for the error term. We also estimated models containing interaction terms of the $dzud$ indicator and selected socio-economic characteristics.

To analyze the timing of the first campsite movement during winter, we calculated the Kaplan-Meier estimator for the survival function:

$$\hat{S}(t) = 1 - \hat{P}r(t \leq T) = \prod_{i:t_i \leq t} \left(1 - \frac{d_i}{n_i}\right) \quad (2)$$

where T is the time of departure, t_i is the time when at least one event (i.e., the departure to another campsite), d_i is the number of events that happened at time t_i and n_i is the number of households known to survive (not yet departed or censored) at time t_i .

3 Results

Results show that living in a severely affected area strongly decreases the probability that households conduct at least one movement during the height of the winter. While in severely affected areas – with high snow depth and low temperatures – livestock was at risk of starving and freezing, the very same conditions constrained mobility. Wealth in livestock is a strong predictor for conducting a movement, but neither land rights nor experience in herding influence households’ movement patterns. Exposure to the extreme winter also postponed the timing of the movement to less affected areas. Again, the negative effect of the extreme winter on the timing of the movement is strongest for households with smaller herds (less than 250 goats and sheep). In January 2016 as under $dzud$ risk has a significant, negative and strong effect on at least one movement between January and April 2016. Next, we include a wide range of socio-economic controls at the household and district level. Among the household-level controls, household labor supply is the only statistically significant factor. Both measures of household labor supply – the number of household members working in herding year-round and a dummy taking the value one if a household camps together and cooperates with other herders when moving – have a significant and negative impact on the probability to conduct a movement during the height of the winter. Thus, the role of labor input for migration decisions appears to be complex. The differential impact of the $dzud$ on households with smaller and larger herds: poorer herders that live in $dzud$ affected districts have a significantly lower probability to conduct a movement compared to wealthier herders in similar areas. This finding fits well with anthropological research that underlines the role of wealth for accessing resources required for conducting nomadic movements [6]. In contrast to expectations, neither formal rights over a winter campsite, nor the perceived quality or years of usage of the winter

campsite have a significant influence on the probability to move. The visual description of the Kaplan-Meier estimates of the survival function for staying at the winter campsite by $dzud$ intensity presented in figure 2. The households at locations with low $dzud$ intensity departed from their winter campsite at a higher rate compared to households experiencing a more intense $dzud$. These differences could be partially attributed to geographical, climate and household characteristics.

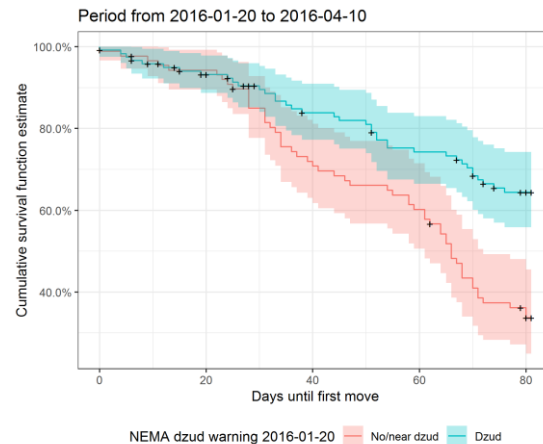


Fig-
ure 2: The length of stay after 20 January 2016, by $dzud$ intensity

Acknowledgment

The research and data on which this study is based were funded by Volkswagen Stiftung, funding initiative “Between Europe and the Orient”, research grant 88498.

References

- [1] R Core Team (2017). R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing.
- [2] Pebesma, E., B. Klus, & M. Moradi (2018). trajectories: Classes and Methods for Trajectory Data. R package version 0.2-1.
- [3] Lehmann-Uchner, K. & K. Kraehnert (2018). When Shocks Become Persistent: Household-Level Asset Growth in the Aftermath of an Extreme Weather Event. *DIW Discussion Paper 1759*.
- [4] Sternberg, T. (2010). Unravelling Mongolia’s Extreme Winter Disaster of 2010. *Nomadic Peoples 14*(1), 72-86.
- [5] Kraehnert, K., K. Lehmann-Uchner, V. Groppo, & V. Bertram-Huemmer (2017). Coping with Shocks in Mongolia Household Panel Survey, Waves 1-3. Version 1.0. German Institute for Economic Research and National Statistical Office of Mongolia. The data collection was funded by the German Federal Ministry of Education and Research, research grant 01LA1126A.
- [6] Fernandez-Gimenez, M.E. (1999). Sustaining the Steppes: A Geographical History of Pastoral Land Use in Mongolia. *Geographical Review 89*(3), 315-342.

Territoires économiques et industriels

SMART GRID AND INDUSTRY 4.0 INTERACTION AS A NON-COOPERATIVE GAME

Bouziane BRIK, David BAUDRY and Anne LOUIS *

Abstract. Industry 4.0 is the most recent industrial revolution that aims to satisfy the manufacturing systems need by improving their productivity, flexibility, and adaptability. However, the manufacturing systems need a tremendous amount of power which significantly increases load on smart grid. There are broad concerns about the impact that this huge consumption may cause to the power grid. Moreover, manufacturing systems are competing to consume power as high as possible from the smart grid in a selfish way, which also has a negative impact on both the other manufacturing systems and smart grid. In this paper, we model the interaction between the smart grid and manufacturing systems as a non-cooperative game. The basic idea of our scheme is to provide a fair power allocation between manufacturing systems. Simulation results confirm the effectiveness of our approach in reducing the load on the smart grid.

Keywords. Industry 4.0, Smart grid, manufacturing systems, power allocation, game theory.

1 Introduction

The fourth industrial revolution, commonly named Industry 4.0, is the most recent trend of manufacturing systems [1]. It is expected to improve the productivity in the 21st century, by making manufacturing systems more smart. Thus, Industry 4.0 makes manufacturing systems' components able to autonomously exchange data, trigger actions and control each other independently by integrating advanced functionalities through Web of Things (WoB) and Internet of Things (IoT)[2]. To do so, the manufacturing systems need a tremendous amount of power to ensure the flexibility, adaptability, and resilience of their components.

The smart grid is an intelligent power infrastructure provider that makes the power grid more stable, reliable and efficient. It integrates advanced communication technologies such as sensing devices and smart meters, to collect information from the power customers. Hence, a bidirectional communication may be established between energy suppliers and users to exchange energy and other information[3].

Being the energy source of many systems including smart homes, smart cities, electric vehicles, etc, the smart grid has also to handle the huge power need of manufacturing systems. Moreover, manufacturing systems purchase power in a selfish way without considering the lim-

ited amount of energy that was assigned to serve this sector. This may, on one hand, deprive a manufacturing system that needs more power than other manufacturing systems to perform its functions. On the other hand, it can overload the power stations and cause a serious damage to the power grid.

To overcome this problem, we model the selfish behavior of manufacturing systems as a non-cooperative game in which each manufacturing system is considered as a player in the game. The basic idea of our scheme is to assign the optimal quantity of power to each manufacturing system, in a fair way.

2 System Model and Game Formulation

In our system, the smart grid controller (utility company) is responsible for supplying power, responding to the power needs of the manufacturing consumers.

2.1 Problem Formulation

We consider a set of manufacturing system, $(ms_1, ms_2, \dots, ms_n)$, that aim to purchase the maximum of power from the smart grid. We denote by ms_j to manufacturing system j ; $\forall j \in N$ with $N = \{1, 2, \dots, j, \dots, n\}$. We assume that:

1. Each manufacturing system node has a priority $P \in [0, 1]$ which reflects its importance in the network. We determined the priority of each node based on both its charge load and state of power charge.
2. Each manufacturing node ms_j can ask for a maximum quantity of power σ_j^{Max} .

2.2 Game Description

We formulated the selfish way of manufacturing systems using non-cooperative game theory. Hence, we consider the following game: $G = (N, S_j, \varphi_j)_{j \in N}$

1. *Players:* we consider a set N of players (manufacturing nodes), $ms_1, \dots, ms_j, \dots, ms_n$.

*LINEACT (CESI), ROUEN, FRANCE. E-mails: bbrik, dbaudry, alouis@cesi.fr

2. *Strategies*: $S_j; \forall j \in N$ represents the actions the player ms_j may take at any stage of the game. Each player can demand a quantity of power between a minimum of zero and a maximum of σ^{Max} . Thus, $S_j = [0, \sigma_j^{Max}]$ and the strategy profile for all players is $S = \prod_{j=1}^n S_j = [0, \sigma_1^{Max}] \times \dots \times [0, \sigma_j^{Max}] \times \dots \times [0, \sigma_n^{Max}]$.
3. *Payoff function*: $\varphi_j : S_j \rightarrow \mathbb{R}$ represents the payoff function of player $ms_j; \forall j \in N$. The objective of each player is to maximize its payoff function φ , with respect to the required power quantity over $[0, \sigma^{Max}]$.

In our approach, the payoff function is modeled to reflect three major functions:

1. *Utility Function*: we design the utility function such that each player gets more profit when it increases its asked power quantity. We use the square root function due to its strict concavity property. Thus, we select the utility function of player ms_j as follows:

$$\mu_j(\sigma_j) = \sqrt{\sigma_j + 1} \quad j = 1, \dots, n \quad (1)$$

Where σ_j is power quantity of player ms_j .

2. *Priority Cost Function*: where each player has to pay a penalty based on both its power quantity (σ_j) and its priority (p_j) which is determined, for each player, in terms of both the both its charge load and state of power charge (SoC). The priority cost function of player ms_j can be defined as follows:

$$P_j(\sigma_j, p_j) = \sigma_j * p_j \quad (2)$$

Where

$$p_j = 1 - \left(\frac{Load_charge}{Max(Load_charge)} * \frac{SoC_j}{Max(SoC_j)} \right) \quad (3)$$

3. *Cost function of the critical jobs priority*: we consider a real time job as a critical job. Hence, we favorite players that have more critical jobs to perform. This function is based on the player's power quantity demand σ_j and its ratio of critical jobs C_j , as follows:

$$CJ_j(\sigma_j, c_j) = \sigma_j * c_j \quad (4)$$

Where

$$c_j = 1 - \left(\frac{Critical_Jobs}{All_Jobs} \right) \quad (5)$$

After setting the utility function, the priority cost function, and the cost function of the critical jobs priority for player $ms_j, \forall j \in N$; the payoff function of player ms_j can be illustrated as follows:

$$\varphi_j(\sigma_j, \sigma_{-j}) = \alpha_j \mu_j(\sigma_j) - \beta_j CJ_j(\sigma_j, c_j) - \omega_j P_j(\sigma_j, p_j) \quad (6)$$

Where $\sigma_{-j} = [\sigma_k]_{k \in N}$ and $j \neq k$ is the vector of power quantities (strategies) of all players except player ms_j

Table 1: Game-based Power Distribution Effectiveness

	Selfish way scheme	Our scheme	Effectiveness
MS_1	5	2.28	54.39%
MS_2	4.7	0.93	80.07%
MS_3	4.9	0.86	62.32%
MS_4	4.75	1.44	69.6%

and $s = (\sigma_j, \sigma_{-j}) \in S$ is the strategy profile, and α_j, β_j , and ω_j are players' preference coefficients of functions μ_j, CJ_j , and P_j , respectively, such that $\alpha_j, \beta_j, \omega_j > 0, \forall j \in N$. These parameters are set to satisfy the system objective and requirements.

3 Performance Evaluation

To validate our scheme, we compare it with the selfish scheme in which manufacturing systems periodically request power from the smart grid controller, in selfish way. We consider four geographically distributed Manufacturing Systems (MS) that are connected to the same smart grid controller.

We consider the effectiveness metric as the percentage of power load that has been reduced on the power grid after applying our scheme. Table 1 shows the effectiveness of our approach, where our game scheme can reduce the stress on the power grid with a percentage of 80% and at the same time ensure the needs of data centers in energy, especially those having more priority applications.

4 Conclusion and Perspectives

We studied the interaction between the smart grid and manufacturing systems to provide a fair power allocation. We modeled the power assignment as a non-cooperative game. Simulation results showed that our approach can significantly reduce power load on power grid. Currently, we are working to prove both the existence and the uniqueness of Nash equilibrium. Then, we will compute the optimal quantity of power assigned to each player.

References

- [1] B. Chen, J. Wan, L. Shu, P. Li, M. Mukherjee, and B. Yin, *Smart factory of industry 4.0: Key technologies, application case, and challenges*, IEEE Access, vol. 6, pp. 6505–6519, 2018.
- [2] E. Sisinni, A. Saifullah, S. Han, U. Jennehag, and M. Gidlund, *Industrial internet of things: Challenges, opportunities, and directions*, IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 14, no. 11, pp. 4724–4734, Nov 2018.
- [3] Y. Yan, Y. Qian, H. Sharif, and D. Tipper, *A survey on smart grid communication infrastructures: Motivations, requirements and challenges*, IEEE Communications Surveys Tutorials, vol. 15, no. 1, pp. 5–20, First 2013.

L'INTEGRATION DE LA LOGISTIQUE DANS LES DOMAINES D'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE

Ebtissem SASSI¹, Abdellatif BENABDELHAFID² et Sami HAMMAMI³

Résumé.

Dans cet article, nous avons montré la corrélation entre « territoire » et « logistique » à travers l'étude de la liaison entre le système logistique intégrée et le territoire. De ce fait, la connaissance des caractéristiques d'un territoire est important pour l'optimisation des échanges des flux physiques tout au long de la chaîne logistique.

Nous avons proposé une approche méthodologique d'un système d'aide à la décision permettant d'aboutir à un écosystème territorial. Elle facilite par la suite l'identification des perspectives de développement économique d'un pays en général, et la performance de l'hinterland en particulier.

Mots-clés. Territoire, logistique intégrée, écosystème industriel territorial, hinterland, l'inscription spatiale de la logistique.

1. Introduction

La mondialisation et la globalisation des économies exigent que le transport de marchandises soit de plus en plus attentif aux besoins des clients. L'accroissement rapide de la mobilité et de l'échange des marchandises conduit à la congestion des réseaux territoriaux et à l'aggravation environnementale due aux émissions polluantes.

La prise en compte de l'ensemble des flux physiques devient de plus en plus complexe au sein de la chaîne logistique. La forte corrélation entre le système logistique et le territoire est un des facteurs de cette complexité. Notre étude sera limitée au trafic maritime de marchandises.

2. l'inscription spatiale de la logistique

Parfois on trouve des confusions entre les mots « compliqué » et « complexe » le premier terme signifie la difficulté dans la compréhension d'un objet d'étude, alors que le deuxième, signifie la présence de plusieurs interactions entre les différents composants d'un système.

Une problématique compliquée est une problématique dont il est possible de la découper en sous problèmes élémentaires indépendants. Alors qu'une problématique complexe est caractérisée par un processus de raisonnement pouvant subir des changements souvent impossibles de les prévoir dès le début.

La logistique est « l'art et la manière de mettre à disposition un produit donné au bon moment, au bon endroit, au moindre coût et avec la meilleure qualité ».

Elle rassemble les activités de maîtrise des flux de produits et la coordination des ressources avec un niveau de service au moindre coût [1]. Ce dernier présente la chaîne logistique comme l'art de transférer ensemble juste à temps, la matière et l'information. Elle se base sur la sécurité des personnes et des biens aussi que sur la préservation de l'environnement.

Les chaînes logistiques gèrent les flux physiques d'informations et financiers des produits et des services. La chaîne logistique englobe trois entités ou plus traversant les flux amont et aval des produits, des services, d'informations et des flux financiers, depuis le fournisseur jusqu'au client.

Dans le cadre de nos travaux, nous nous intéressons principalement aux problématiques liées aux flux physiques.

Le système logistique se compose de l'offre et de la demande logistique. L'offre logistique se base sur les infrastructures logistiques et de transport (plateforme logistique, réseaux de transport, etc.) et sur les acteurs de la logistique (prestataires de service logistique, etc.). La demande logistique renvoie aux flux et aux niveaux de stocks correspondant aux besoins exprimés par le système productif. Le système logistique est considéré comme un système complexe décomposé en différentes couches : une couche physique et une couche organisationnelle auxquelles s'ajoute une couche informationnelle.

L'apparence de la notion de la logistique intégrée revient au besoin des applications de gestion, de production, de planification et d'ordonnancement. Elle doit être alimentée par des informations précises et fiables concernant le fonctionnement des ateliers et des lignes de fabrication [3].

Les constructions territoriales ne sont plus visionnées en termes d'étendues et de limites, mais en terme d'un système complexe [4].

Dans ce contexte, et suite à la forte liaison entre l'infrastructure de transport, le système territorial et les zones logistiques, la problématique de la performance portuaire devient primordiale.

Selon [5] « *L'inscription s'appuie sur un réseau physique d'infrastructures logistiques et de transport et repose sur l'intégration géographique des chaînes logistiques* ». La complexité de l'étude peut être représentée par le schéma ci-dessous :

¹ebtissem.sassi@univ-lehavre.fr

NIMEC (Normandie, Innovation, Marché, Entreprise, Consommation)-France

LMAH (Laboratoire de Mathématiques Appliquées du Havre)-France

URED (Unité de recherche en économie du développement durable)-TUNISIE

²abenabelhafid@gmail.com

LMAH (Laboratoire de Mathématiques Appliquées du Havre)-

France

³sami_hammami2005@yahoo.fr

URED (Unité de recherche en économie du développement durable)-TUNISIE

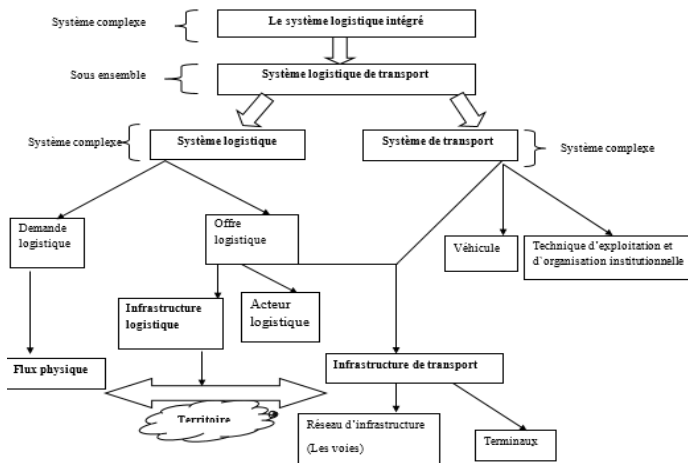


Figure 1 : la complexité du système d'étude

3. Approche méthodologique :

L'approche méthodologique proposée sert à l'identification des perspectives territoriales liées aux projets d'amélioration de l'efficacité des réseaux de transport. Cette approche aide à avoir des influences économiques positives sur l'hinterland en réfléchissant aux solutions pouvant être mises en œuvre pour pallier les problèmes de congestion.

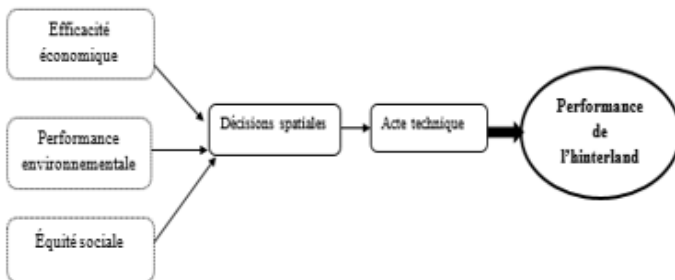


Figure 2 dimensions du développement durable

La résolution de ce problème doit se baser sur la communication, la coordination et la collaboration entre les différents acteurs en intégrant les facteurs territoriaux à travers la prise en compte des contraintes de type spatiales, réglementaires et fonctionnelles afin de viser à la gestion optimale de l'échange des flux physiques et de diminuer ses externalités négatives.

Cette approche méthodologique globale vise plusieurs objectifs:

- La mise en œuvre d'un écosystème à valeur ajoutée développant les synergies entre la logistique, l'industrie et la distribution à travers le développement des solutions de connectivité durable pour le transport de marchandises.
- Donner une vision géostratégique afin d'alimenter les études multi échelles (au niveau régional et national) par la connaissance des lacunes et des opportunités du système de transport dans l'hinterland.

Ce type d'étude s'intéresse à plusieurs familles d'acteurs

On cite, notamment, les décideurs (l'état, les collectivités locales et territoriales), les consultants, les opérateurs (les habitants, les transporteurs routiers et ferroviaires, les acteurs de la logistique).

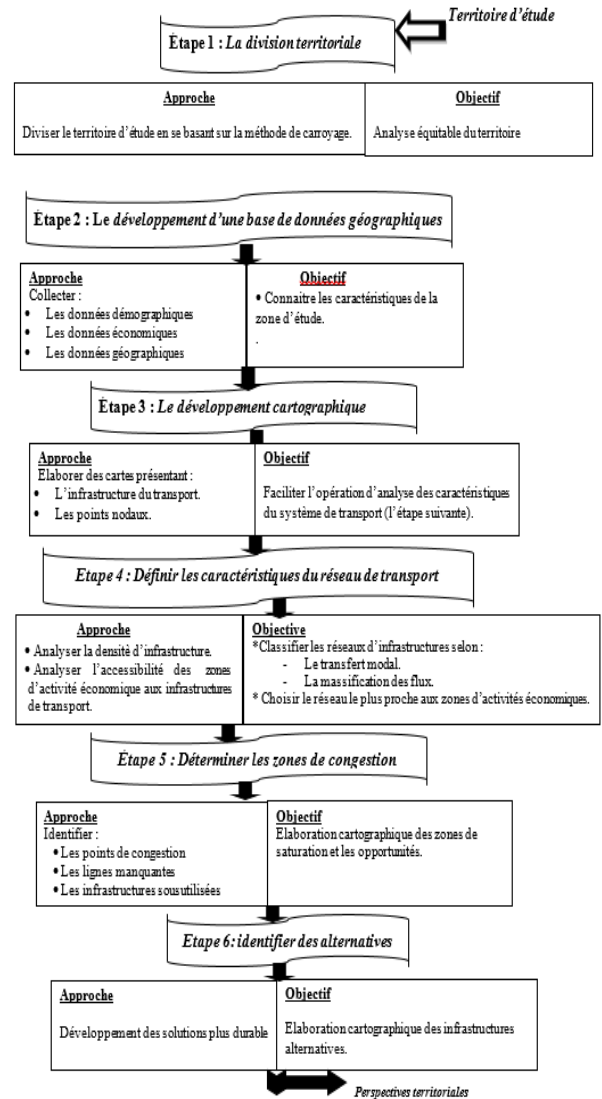


Figure 3 : la complexité de système de l'étude

Références

[1] HESKETT, J. (1977). Logistics: essential to strategy. Harvard Business. Dans Review 55(nov-déc.) ,pp. 85-96.
 [2] MENTZER, J. D. (2001). Defining Supply Chain Management. Journal of Business Logistics.
 [3] BENABDELHAFID, A. (1999). système d'information de logistique intégrée. Habilitation à diriger des recherches, université du Havre .
 [4] CATTAN, N. F.-B. (2011). « Les portes d'entrée de la France et les systèmes territoriaux des flux ».
 [5] MASSON, S. P. (2012). Interactions entre logistique et territoire : analyse, enjeux et ruptures.

OPTIMISATION DE LA TAILLE DE FLOTTE DE ROBOTS DANS UN ATELIER FLEXIBLE : APPROCHE PAR SIMULATION

M. Sahnoun, Y. Xu, B. Bettayeb, D. Baudry *et F. Ben-Abdelaziz †

Résumé. Dans cet article, nous proposons un outil d'aide à la décision basé sur la simulation multi-agent pour optimiser la taille d'une flotte de robots de transport dans un atelier flexible. Le simulateur prend en considération différents paramètres de coûts et de performance des machines de production et permet de simuler les éventuels embouteillages créés en fonction du nombre de robots dans l'atelier. Les résultats expérimentaux montrent qu'il existe un nombre optimal de robots qui permet à la fois de répondre à la demande en terme de temps de transport et de fluidifier la circulation des robots dans l'atelier.

Mots-clés. Système de production flexible, Simulation, Transport robotisé collaboratif, Taille de flotte de robots, Optimisation.

1 Introduction

L'objectif de toutes les entreprises manufacturière est de maximiser l'utilité de leurs systèmes de production à moindre coût. L'adoption d'un système de production flexible est un bon moyen pour atteindre cet objectif. Cela permet de produire plusieurs produits en même temps en adaptant les outils de production aux besoins des clients. L'utilisation d'une telle architecture du système de fabrication augmente l'importance de la tâche de transport[1]. Dans la littérature, plusieurs types d'ateliers flexibles ont été développés et étudiés pour apporter des solutions aux différents problèmes liés à la supervision et au pilotage des systèmes de production.

Dans le cas des ateliers flexibles à cheminement multiples (appelés en anglais "flexible job-shop") les trajectoires de déplacement des produits dans l'atelier sont inconnues à l'avance et chaque opération peut être exécutée par plusieurs machines. Pour transporter un produit, différents transporteurs peuvent être utilisés et différentes trajectoires peuvent être sélectionnées. En outre, le transport influence directement et indirectement d'autres activités du système de production, en particulier la fabrication, l'inspection et la maintenance. Dans la plupart des travaux de recherche sur l'ordonnancement des ateliers flexibles, l'activité de transport est souvent simplifiée ou négligée, ou réduite à une file d'attente avec un comportement particulier.

D'autre part, la pénibilité et de la répétitivité des

tâches de transport, ont amené plusieurs chercheurs à travailler sur l'intégration de robots, tels que les véhicules autoguidés (AGV) ou les manipulateurs mobiles [2]. Par conséquent, des nouveaux défis industriels ont été soulevés concernant la planification des tâches de transport, la supervision des robots intelligents et le dimensionnement de flotte robotique [3].

L'optimisation de la taille de flotte de robots est une décision tactique qui devrait permettre de trouver un équilibre entre la capacité de l'atelier et les besoins du marché. Compte tenu du prix des robots utilisés pour le transport et le temps nécessaire pour les acquérir, il est important de définir le nombre optimal de robots utilisés car le risque de perte en production et le risque de perte en investissement sont équivalents. Certains chercheurs ont proposé des méthodes analytiques pour déterminer la taille optimale du parc de robots [4]. Cependant, l'utilisation de robots collaboratifs rend le problème plus complexe car le temps de transport et le temps de fabrication des produits ne peuvent pas être déterminés à l'avance.

Dans un travail précédent [5], nous avons montré l'efficacité de l'approche par simulation dans la résolution d'un problème similaire. Dans ce papier nous étendons les développements pour introduire d'autres comportements liés à la latence due à l'augmentation de nombre de robots.

2 Formalisation et approche

Supposons qu'un système de production flexible est composé de N_m machines de production ayant des capacités et des aptitudes différentes. Les robots de transport ont vocation à être autonomes et collaboratifs, ce qui signifie qu'ils peuvent éviter les obstacles en choisissant leur chemin. Le nombre de robots peut être modifié en fonction des besoins et des stratégies de production en place. Le temps de trajet d'un robot, pendant une mission donnée, dépend de la configuration de l'atelier, des caractéristiques du robot et aussi de nombre d'obstacles statiques ou dynamiques qui se trouvent sur son chemin. Les autres robots présents dans l'atelier de production sont représentés comme des obstacles dynamiques. L'approche proposée se base sur l'évaluation et la comparaison des coûts et des temps de production pour différents nombre de robots. La simulation est basée sur un modèle multi-agents composé de cinq types d'agents : "Machine", "Input stock", "Output stock", "Product"

*M. Sahnoun, Y. Xu, B. Bettayeb et D. Baudry sont membres du LINEACT CESI, Mont-Saint-Aignan, France. E-mails :{msahnoun, yxu, bbettayeb, dbaudry}@cesi.fr

†F. Ben-Abdelaziz est membre du NEOMA Business School, Mont-Saint-Aignan, France. E-mail : fouad.ben.abdelaziz@neoma-bs.com

et "Transporter". Chaque agent a ses propres comportements et attributs. L'ordonnement de tâches des robots est assuré par un algorithme d'ordonnement dynamique que nous avons déjà développé et évalué dans [6]. Les déplacements des robots sont possibles suivant des chemins prédéfinis entre les différents stocks présents dans l'atelier. Un robot ne prend pas un chemin quand il y a un autre robot qui le prend en même temps dans le sens opposé afin d'éviter qu'ils se croisent sur le même chemin. Le coût total est calculé à travers la simulation, où chaque opération ou situation coûteuse génère un coût qui sera rajouté au coût total. Les coûts considérés sont : le coût d'investissement dans la solution robotique (C_{Invest}), le coût de production (C_{Prod}), le coût de transport (C_{Trans}) et le coût de pénalité de retard (C_{Tard}).

3 Résultats et conclusions

Les expériences sont basées sur un cas d'utilisation composé de 4 machines, un nombre variable de robots transporteurs et trois produits avec des quantités différentes (P1 : 280 ; P2 : 220 and P3 : 240). Chaque machine a un coût de production différent pour chaque opération de chaque produit. Les produits doivent être livrés après 4 heures (14400 secondes). Le coût d'investissement de chaque robot est de $k\text{€}100$, avec un amortissement sur 3 ans, ce qui correspond à un coût d'investissement quotidien égal à $91\text{€}/\text{jour}$. Le coût de la consommation d'électricité et de l'entretien est estimé à $7,8\text{ €}/\text{heure}$ et la pénalité du retard pour chaque type de produit est fixée à $475\text{€}/\text{heure}$. Les résultats obtenus sont présentés dans Figure 1. Elle présente l'évolution du coût total en fonction du nombre de robots utilisés dans les cas sans et avec prise en compte du phénomène d'embouteillage. Le coût sans prise en compte de l'effet de l'embouteillage est toujours inférieur à celui avec prise en compte des interactions entre les robots et présente un minimum avec 4 robots. La taille optimale de la flotte de robots devient égale à 6 dans le cas avec prise en compte de l'embouteillage. Ce résultat met l'accent sur l'importance de prise en compte de ce phénomène dans les décisions de planification et d'ordonnement et/ou la négociation des dates de livraison avec les clients.

La suite de ce travail se concentrera sur la fusion de décision au niveau tactique et opérationnel afin de pouvoir définir le besoin en robots en même temps que l'ordonnement intégré des tâches de transport avec celles de la production.

Remerciements

Nous remercions la région Normandie et l'Union européenne pour le soutien apporté à cette recherche à travers le programme Européen FEDER en finançant le projet Xterm.

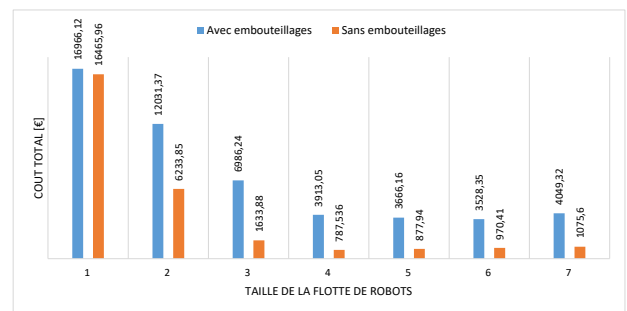


FIGURE 1 – Coût total de la production avec et sans phénomène d'embouteillage

Références

- [1] Q. Zhang, H. Manier, and M.-A. Manier, "A genetic algorithm with tabu search procedure for flexible job shop scheduling with transportation constraints and bounded processing times," *Computers & Operations Research*, vol. 39, no. 7, pp. 1713–1723, 2012.
- [2] S. R. González, I. Mondragón, G. Zambrano, W. Hernandez, and H. Montaña, "Manufacturing control architecture for fms with agv : A state-of-the-art," in *Advances in Automation and Robotics Research in Latin America*. Springer, 2017, pp. 157–172.
- [3] P. Valmiki, A. S. Reddy, G. Panchakarla, K. Kumar, R. Purohit, and A. Suhane, "A study on simulation methods for agv fleet size estimation in a flexible manufacturing system," *Materials Today : Proceedings*, vol. 5, no. 2, pp. 3994–3999, 2018.
- [4] I. F. Vis, "Survey of research in the design and control of automated guided vehicle systems," *European Journal of Operational Research*, vol. 170, no. 3, pp. 677–709, 2006.
- [5] M. Sahnoun, Y. Xu, F. Ben Abdelaziz, and D. Baudry, "Optimization of transportation collaborative robots fleet size in flexible manufacturing systems," in *The 8th International Conference on Modeling, Simulation and Applied Optimization (ICMSAO'2019)*. ICM-SAO, 2019.
- [6] X. Yiyi, S. Mhammed, B. A. Fouad, B. David, and L. Anne, "Multi-objective flexible job shop scheduling transportation problem :simulation approach," in *12th Multiple Objective Programming and Goal Programming (MOPGP)*. Metz, France : MOPGP, 2017, pp. elec-proc.

UN PROCESSUS DÉCISIONNEL BASÉ SUR LA LOCALISATION DE RESSOURCES POUR LA PLANIFICATION DYNAMIQUE DES TÂCHES

M. Sahnoun, B. Bettayeb*, M.-A. Benatia et B. Brik†

Résumé. Les perturbations sur l'exécution des plan de production est un problème récurrent dont souffre la plus part des ateliers de productions industriels. Ses perturbations se manifestent souvent sous forme de retards, provoqué par l'absence de ressources humaines ou matérielles nécessaires à l'exécution de tâches. La localisation de ces ressources permet non seulement d'accélérer la récupération de la ressource, mais aussi de prédire des éventuels perturbations dans le futur. Ce papier propose une formalisation du processus décisionnel dans l'exploitation des prédiction des événements perturbateurs afin de mitiger les risques qui y sont associés en mettant en place des actions correctives ou préventives.

Mots-clés. Localisation ; Planification ; Optimisation ; Prédiction, Risque.

1 Introduction

L'amélioration de la performance et le renforcement des conditions de sécurité de personnes et de biens sur les sites de production représentent des enjeux majeurs pour les entreprises industrielles. Le site de production est un environnement dans lequel différentes ressources (personnes, machines, ...) sont coordonnées pour interagir et accomplir des tâches diverses s'inscrivant dans des processus et aboutissant à la réalisation de différents cycles de production ou de support. Cependant, certaines interactions fortuites entre ces ressources peuvent aller à l'encontre des objectifs de productivité, de sécurité et/ou de sûreté de l'entreprise. Par exemple, certains objets et/ou zones peuvent représenter un danger pour certains opérateurs. D'autres objets, pouvant avoir un caractère confidentiel, ne doivent pas être exposés à tous les opérateurs et ne sont accessibles que pour une partie restreinte des intervenants sur le site. D'autre part, la planification des tâches de production suppose la disponibilité des ressources dans une position donnée au moment de leur exécution. Cependant, le comportement imprévisible des opérateurs dans l'atelier de production, les aléas sur l'état des ressources et les flux physiques et informationnels font que cette hy-

pothèse n'est pas toujours vérifiée [1][2]. Cela perturbe la planification initiale en retardant des tâches, voire en menant à leur annulation si une solution alternative n'est pas identifiée. Dans une telle situation, la localisation des ressources peut être d'une grande utilité afin de prendre rapidement une décision optimisée pour remédier à ce genre de perturbations [3]. Traditionnellement, il est impossible de connaître en temps réel et avec certitude les positions des ressources mobiles dans un atelier de production. Avec l'émergence de l'industrie 4.0 et ses composantes, notamment l'IdO (Internet des Objets ou IoT), les capteurs et les SCP (Systèmes Cyber-Physiques), la récupération des données de localisation en temps réel devient possible [4]. Plusieurs chercheurs et industriels ont développé des solutions techniques pour la localisation temps réel qui peuvent être installées sur les personnes et les objets ou dans les bâtiments. Cependant, la prédiction/détection des dérives sur la localisation des ressources peut générer un nombre important d'alertes rendant leur gestion impossible, ce qui empêche l'utilisation de certaines d'entre elles pour améliorer la performance opérationnelle et réduire certains risques. Il donc primordial calculer la probabilité d'apparition d'un événement redouté en se basant sur ces alertes. Dans cet article, nous proposons de développer une méthode basée sur la localisation pour définir une stratégie de prise de décision concernant les actions à entreprendre afin de réduire les effets des événements redoutés détectés ou les éviter.

2 Formalisation du problème

Supposons qu'un planning prévisionnel de production ($PPP(t)$) est en cours d'exécution, il contient le planning courant des tâches affectées aux différentes ressources de l'instant t jusqu'à la fin de l'horizon de planification H . Grâce à la remontée des informations apportées par les données des capteurs ($\mathcal{D}(t)$), une situation de risque élevé, résultant de l'arrivée d'un événement redouté e , est prédite à l'instant courant t pour arriver après un délai τ , avec un degré de confiance de prédiction $\gamma_e(\mathcal{D}(t), \tau)$:

$$\begin{aligned} P_e(t + \tau) &= \Pr(\text{l'évènement redouté } e \text{ arrive à } t + \tau) \\ &= \hat{P}_e(\mathcal{D}(t), \tau) \pm \gamma_e(\mathcal{D}(t), \tau) \end{aligned}$$

*B. Bettayeb est membre du Laboratoire LINEACT/CESI, Campus Lille, France. E-mail : bbettayeb@cesi.fr

†M. Sahnoun, M.-A. Benatia et B. Brik sont membres du laboratoire LINEACT/CESI, Campus Rouen, France. E-mails :msahnoun@cesi.fr, mabenatia@cesi.fr, bbrik@cesi.fr

Où $\hat{P}_e(\mathcal{D}(t), \tau)$ représente la probabilité estimée que l'évènement redouté arrive après un temps τ , et $\mathcal{D}(t)$ représente l'ensemble de données actualisées à l'instant t , y compris celles de la localisation des ressources. Si l'évènement est déjà avéré à t , alors $P_e(t + \tau) = 1 \forall \tau \geq 0$ et le système continu à subir les effets de l'évènement jusqu'à ce qu'une action corrective est mise en place pour y remédier. Supposons qu'il existe une action préventive pour mitiger le risque associé à tout évènement redouté e et que l'action est enclenchée à chaque fois que la condition suivante est vérifiée :

$$\left(\hat{P}_e - \gamma_e \geq P_e^{\min} \right) \vee \left((\hat{P}_e + \gamma_e \geq P_e^{\min}) \wedge (\gamma_e \leq \gamma_e^{\max}) \right)$$

Où P_e^{\min} et γ_e^{\max} sont des seuils de décision qui reflètent l'attitude du décideur face aux risques (aversion, tolérance, addiction). Un évènement redouté e est définie par deux attributs qui sont le type $type_e$ et la durée μ_e . Les types d'évènements redoutés qui peuvent venir perturber l'exécution de $PPP(t)$ sont : (i) indisponibilité d'une ressource r pendant un temps μ entraînant un retard sur l'exécution d'une ou plusieurs tâches (ii) arrivée de nouvelles tâches à intégrer dans le planning courant (iii) annulation de tâche(s) dans la planning courant (iv) variation de durées de tâche(s) (v) variation de date d'échéance de livraison de tâche(s) (vi) accès d'une ressource à une zone interdite. Seul le premier et le dernier type de risque peuvent être évalués en utilisant les informations de localisation de ressources. Nous allons nous limiter à ces deux types de risque dans le cadre de cette étude.

Exemple 1. Prenons le cas le plus basique : à l'instant t l'opérateur r est localisé à la position $L_{r,t}(x_{r,t}, y_{r,t})$. Il doit exécuter une tâche j sur une machine m localisée à la position $L_m(x_m, y_m)$ à l'instant t_j postérieur à t . Sachant que la distance qui sépare la position de l'opérateur de la machine m est $\Delta d_{r,m,t}$, le temps nécessaire pour parcourir cette distance est $\Delta t_{r,m,t}$. Il y aura du retard sur la tâche j si $\Delta t_{r,m,t} > t_j - t - \epsilon_{r,t}$. Dans ce cas le retard sera de $T_j = t + \Delta t_{r,m,t} + \epsilon_{r,t} - t_j$, où $\epsilon_{r,t}$ est la latence intrinsèque de l'opérateur avant qu'il commence à partir vers la machine m . L'évènement redouté associé à cette situation pourrait être défini comme $e : T_j \geq T_j^{\max}$, avec T_j^{\max} le retard maximum toléré pour la tâche j .

Soit t_s le temps nécessaire pour définir une action corrective (si $\tau = 0$) ou préventive (si $\tau > 0$) optimisée, t_a le temps nécessaire pour la mise en place de cette action et $t_r = t_s + t_a$ le temps de réactivité. Nous distinguons deux cas possibles :

Cas $t_r \leq \tau$: possibilité de planification et mise place de l'action avant l'occurrence de l'évènement redouté associé au risque. Dans ce cas $0 \leq P_e(t + t_r) < P_e(t + \tau)$

Dans ce cas il n'y aura pas de perturbation apparente sur l'exécution des tâche dans le PPP, même si la planning dynamique peut présenter une différence par rapport au planning prévisionnel (rajout d'une tâche, remplacement d'une ressource, etc.)

Cas $t_r > \tau$: l'évènement redouté peut arriver avant la mise en place de l'action. Dans ce cas $P_e(t + t_r) > P_e(t + \tau)$ En fonction de type d'évènement redouté, l'action adéquate pour le mitiger et/ou l'éliminer doit être intégrée dans le planning existant à moindre coût. On distingue deux types actions possibles : (i) remplacer une ressource indisponible et (ii) réaffectation de tâches à d'autres ressources. Chaque type d'action ayant un coût différent, le coût total des actions choisies doit être minimisé.

3 Conclusion

Ce papier propose une formalisation du processus décisionnel basé sur la prédiction des risques issue des données de localisation de ressources. Le but est définir l'ensemble des actions afin de minimiser les perturbations liées à l'absence de ressources et leurs effets sur l'exécution des tâches. Un exemple basique est présenté pour expliquer l'approche propose. La suite de ce travail consistera à développer des algorithmes de planification dynamique à l'issu des actions décidées et les testés par simulation, puis sur un cas d'étude expérimental.

Remerciements

Nous remercions la région Normandie et l'Union européenne d'avoir soutenu cette recherche par le biais du programme régional de recherche RIN en finançant le projet intitulé LOCADYN dans le cadre duquel cette recherche est menée.

Références

- [1] B. L. MacCarthy, J. R. Wilson, and S. Crawford, "Human performance in industrial scheduling : a framework for understanding," *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, vol. 11, no. 4, pp. 299–320, 2001.
- [2] J.-C. Billaut, A. Moukrim, and E. Sanlaville, *Flexibility and robustness in scheduling*. John Wiley & Sons, 2013.
- [3] I. Kacem, S. Hammadi, and P. Borne, "Approach by localization and multiobjective evolutionary optimization for flexible job-shop scheduling problems," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, vol. 32, no. 1, pp. 1–13, 2002.
- [4] I. Bouzarkouna, M. Sahnoun, N. Sghaier, D. Baudry, C. Gout, et al., "Challenges facing the industrial implementation of fog computing," in *2018 IEEE 6th International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud)*, pp. 341–348, IEEE, 2018.

FALSE MAINTENANCE ALARM-SEQUENCE DETECTION USING FREQUENT PATTERN MINING

M. A. BENATIA, D. BAUDRY and A. LOUIS *

Abstract. Maintenance management is one of the most critical tasks in industry. It is generally carried by maintenance technicians and engineers that monitor the health status of a production equipment using failure detection systems. These systems merges several sensors data collected from PLCs in order to detect a possible deviation from natural behavior of the production equipment. If a deviation is detected, an alarm notification is then visualized on the technicians' dashboard. The technicians can then plan (or not) maintenance actions depending on its severity. In this paper, we investigate the use of Frequent Pattern Mining methods application on detecting false alarm-episodes, thus reducing the time consumed in diagnostics phase. We propose a FPM framework that can be generalized for most existing industrial maintenance cases. We use the *Apriori* algorithm in order to mine frequent episodes and construct association rules. These rules are then used in order to classify alarm sequences to false/real alarm.

Keywords. Frequent Pattern Mining, Industrial Maintenance, PHM, Data Mining, Industrie 4.0

1 Introduction

Driven by the availability of new technologies, such as IoT and cloud computing, that reduce the costs of collecting and managing industrial data, the industry is moving towards its fourth revolution. Industry 4.0 (or industry of the future) can be seen as the convergence between traditional operational and information technologies (ERP, MES, etc.) and data-driven approaches such as Machine Learning (ML), Big Data Analytics, IoT and cloud computing.

In this context, embedded sensors in the production equipment can communicate and transmit their data via standard IoT protocols (6LoWPan, RPL, IPv6, MTConnect, etc.); allowing a better support for interoperability between the underlying system components. This promotes the implementation of service-oriented architecture (SOA: Service Oriented Architectures) that allows distributed components to invoke actions on remote machines, via Web Services (e. g. REST API) [1]. These new highly connected manufacturing industries represent

a data-intensive production environment (ubiquitous sensors, embedded analytical capabilities, etc.) whose objective is to improve production processes (better product quality), increase equipment availability (better maintenance management) and reduce energy consumption and carbon footprint [2].

Among these criteria, the smart (intelligent) management of maintenance actions remains a very recent field that was partially covered by scientific studies [3]. Maintenance strategies and methods will also be impacted by the rise of new technologies, that allows the implementation of efficient and responsive real-time diagnosis and prognosis systems. In general, diagnosis and prognosis are engineering disciplines that aim to predict the time remaining before the equipment stops performing its assigned task [4]. This involves the prediction of the Remaining Useful Life (RUL) metric, which can define a degradation curve indicating the equipment health behavior based on the sensed data.

Nowadays, major manufacturing industries have a condition monitoring system that generate alarm events and monitoring variables that are related to the production equipment. Such systems are generally attenuated by sensor noise that can generate false alarms resulting. In this case maintenance operators have to check the sensor data in order to classify the alarm. In this paper, we propose an alarm event episodes classification framework based on frequent pattern mining. This framework will save precious time to maintenance operators by automatically identifying false alarms and removing them from the operators dashboard.

2 Problem statement and preliminaries

Our objective is to process "data-stream" in order to allow the implementation of "awareness" functions (i.e.: detection of anomalies and classification of detected anomalies) and prediction (i.e.: future behaviour of the system) applied to industrial maintenance.

The "data-stream" can be represented by a sequence of channels S , where the definition domains of each channel

*M. A. BENATIA, D. BAUDRY and A. LOUIS are with Department of research (LINEACT Laboratory), Cesi engineering school, France. E-mails: mbenatia@cesi.fr, dbaudry@cesi.fr and alouis@cesi.fr

belonging to S is the same.

$$S = [c_1, c_2, \dots, c_n] \mathbb{D}(c_1) = \mathbb{D}(c_2) = \dots = \mathbb{D}(c_n) \quad (1)$$

Where n represents the number of channels in the S data-stream. Each channel has the same domain that corresponds to the timestamps where the values of each channel exist. A data-stream allows us to collect various measurements and treat them as part of the same object (i.e.: sensor data fusion).

The prognostic on industrial maintenance problem can thus be seen as a temporal classification problem or temporal sequence-aware labeling. The purpose of sequence labeling is to assign a sequence of labels (anomaly types), derived from a fixed and finite alphabet, to a sequence of data received as input (data-stream). Sequence labeling differs from pattern/pattern classification in that, in sequence labeling, the entries represent x sequences of fixed size (i.e. real value vectors) and the targets are discrete label sequences z , derived from a finite alphabet \mathcal{L} .

Thus, the sequence labeling problem can be mathematically represented as follows: Let S be the set of learning examples independently drawn from a known and fixed a priori, distribution $\Omega_{X \times Z}$. The input space $\chi = (R^M)^*$ is the set of all sequences of size M (real value vectors). The target space $Z = \mathcal{L}^*$ is the set of all sequences on the finished label alphabet \mathcal{L} .

Each element of S can be represented as a sequence pair (x, z) . If the input/output sequence is indexed over time, the values of x and z are called time-steps. The classification task is then:

"use S to learn a temporal-sequence labeling algorithm: $h : \chi \rightarrow Z$ to label the sequences of a test set $S' \subset \Omega_{X \times Z}$ disjoint from set S , so as to minimize an error metric, which is independent from the identified task"

3 Proposed approach

Based on the support framework we propose an algorithm for failure events prediction based on sensor alarm data/events. In most industrial cases, maintenance operators rely on sensor or alarm events to detect equipment health degradation/status. According to Zongchang Liu PhD thesis [5], the main challenge of condition-based monitoring comes mainly from two aspects:

1. *Spatio-temporal clustering*: in most cases, alarms happen in groups, and a group of alarm events that are close in time or space may represent multiple failure modes.
2. *False alarms and failure propagation*: usually one alarm will represent the true incident and the other ones are just triggered by the main alarm. Also, we can observe several false alarms caused by operational regime change on uncertain data collected from sensors.

In order to solve the aforementioned challenges, a clustering approach is required. Based on works done in [6] which deals with failure detection from network logs, we propose the following steps:

1. *Failure events extraction and categorization*: in this step, we identify *failure-events* which are all the events with a great severity (*FATAL*) that causes production system crashes. This part was based on maintenance operators knowledge, thus leading to a *human in the loop* approach.
2. *Temporal clustering (at a single location)*: Failure events from the same location often occur in bursts, referred to as *clusters*. Identifying such clusters needs the definition of a *Time-window* in order to group events into itemsets. In this paper, two events belong to the same cluster if the gaps between them are less than a predefined threshold T_{th}
3. *Spatial clustering (across multiple locations)*: In order to capture the failure propagation in a spatially distributed manufacturing system, we regroup alarm events based on their locations. This task is generally referred to as *spatial filtering* and removes failures that are close to each other (by defining a threshold S_{th})

Based on the aforementioned steps, we can say that the problem of clustering is equivalent to identify and extract frequent itemsets in the given events sequence. To this end, we choose the use of the *Apriori* algorithm that reduces the number of candidate generated itemsets during the *Level-wise exploration* phase.

Algorithm 1 Frequent Pattern Mining (Transaction database \mathcal{T} , Minimum Support s)

```

Begin
 $\mathcal{FP} =$ 
Insert length – one frequent pattern in  $\mathcal{FP}$ 
while all frequent patterns in  $\mathcal{FP}$  are not explored
do
  Generate a candidate pattern  $P$  from one (or more)
  frequent pattern(s) in  $\mathcal{FP}$ 
  if support( $P, \mathcal{T}$ )  $\geq s$  then
    Add  $P$  to frequent pattern set  $\mathcal{FP}$ 
  end if
end while

```

4 Conclusion & Future works

In this paper, we propose a false maintenance alarm detection framework based on Frequent Pattern Mining. We use a FPM algorithm called *APriori* which is a *Tree-enumeration* method for rule association mining. Using this method, we can extract useful rules consisting on frequent maintenance alarm sequences. These rules are then

stored in order to classify alarm sequences into false/real alarms. This method is under validation and results will be obtained soon.

References

- [1] P. O'Donovan, K. Bruton, and D. T. O'Sullivan, "Case study: the implementation of a data-driven industrial analytics methodology and platform for smart manufacturing," 2016.
- [2] X. Jin, B. A. Weiss, D. Siegel, and J. Lee, "Present status and future growth of advanced maintenance technology and strategy in us manufacturing," *International journal of prognostics and health management*, vol. 7, no. Spec Iss on Smart Manufacturing PHM, 2016.
- [3] Ö. F. Eker, F. Camci, and I. K. Jennions, "Major challenges in prognostics: study on benchmarking prognostic datasets," 2012.
- [4] N. M. Vichare and M. G. Pecht, "Prognostics and health management of electronics," *IEEE transactions on components and packaging technologies*, vol. 29, no. 1, pp. 222–229, 2006.
- [5] Z. Liu, "Cyber-physical system augmented prognostics and health management for fleet-based systems," Ph.D. dissertation, University of Cincinnati, 2018.
- [6] Y. Liang, Y. Zhang, A. Sivasubramaniam, M. Jette, and R. Sahoo, "Bluegene/l failure analysis and prediction models," in *Dependable Systems and Networks, 2006. DSN 2006. International Conference on*. IEEE, 2006, pp. 425–434.

Index

- AZIZ-ALAOUI, M.A., 9
BAERT, J., 75
BAILLET, H., 35
BAILLY-HASCOËT, V., 61, 69
BALEV, S., 61
BANOS, A., 63
BARBU, V.S., 17
BARTHÉLÉMY, M., 3
BAUDRY, D., 87, 91, 95
BAUDRY, J., 49
BELTAIEF, S., 17
BEN-ABDELAZIZ, F., 91
BENABDELHAFID, A., 89
BENATIA, M.A., 39, 93, 95
BENGUIGUI, N., 35
BERTELLE, C., ix, 9, 13, 61
BETTAYEB, B., 91, 93
BOULANGER, J., 35
BRIK, B., 87, 93
BUSSI, M., 37
CANTIN, G., 9
CAPUTO, J.-G., 19, 21, 27
CARUSO, G., 23
CASTEX, E., 73
CHARRIER, R., 9, 13
CORSON, N., 61
COUILLET, A., 49
COUTURIER, L., 61
DEBOUDT, P., 73
DEBRIE, J., 63
DUBOS-PAILLARD, E., 9
DUPUY, G., 3
ELISSALDE, B., 49
EVRARD, B., 37
FÉMÉNIAS, D., 37
FRANKHAUSER, P., 3
FROTEY, J., 73
GILLET, O., 49
GRASSOT, L., 49
GUÉRIT, F., 25
GUIGNARD, B., 43, 45
HACQUES, G., 41
HAMDI, A., 19
HAMMAMI, S., 89
HASIAK, S., 79
HAUW, D., 35, 43
JUSTE, N., 79
KHAMES, I., 21, 27
KNIPPEL, A., 19, 21, 27
KNOTH, C., 83
KOMAR, J., 33, 41
KRAEHNERT, K., 83
LANDINI, S., 67
LANGLOIS, T., 61
LANZA, V., 9
LEMOY, R., 23
LENORMAND, M., 53
LEPILLÉ, R., 37
LEROY, D., 35
LOCMONT, F., 75
LOUIS, A., 87, 95
LUCCHINI, F., 49
MÉLANÇON, G., 3
MARTEL-FLORES, H., 75
MERICKSKAY, B., 55
MESSAADIA, M., 39

MOLINES, N., 75
NAVARRO, O., 9
OCCELLI, S., 67
PEBESMA, E., 83
PERGAMENSHCHIKOV, S., 17
PHILIPPE, J., 13
PROVITOLLO, D., 9
PUMAIN, D., 3
PUREVTSEREN, M., 83
RICHARD, G., 75
RIETVELD, E., 3
ROCHAT, N., 35, 43
SAHNOUN, M., 39, 91, 93
SAJOUS, P., ix, 61
SALZE, P., 61
SASSI, E., 89
SECHILARIU, M., 75
SEIFERT, L., 31, 33, 35, 41, 43, 45
SUGAR, M., 83
TANGUY, M., 25
TARTAKOVSKY, A., 3
TEICKNER, H., 83
THOUVARECQ, R., 35
VERDIÈRE, N., 9
VERGNE, N., 33
VIGH, M., 83
XU, Y., 91