



Région Normandie

**Projet : XTERM  
systèmes compleXes, intelligence TERritoriale et  
Mobilité**



**Rapport d'activités de l'ensemble du projet  
Octobre 2015 - Septembre 2019**

**Version du 15 novembre 2019**



Ce projet est cofinancé par l'Union européenne.  
L'Europe s'engage en Normandie  
avec le Fonds européen de Développement Régional (FEDER)



## Sommaire

<b>A. Description du projet .....</b>	<b>3</b>
1. Titre .....	3
2. Nom des responsables scientifiques, laboratoires et établissements concernés .....	3
3. Durée .....	4
4. Objets et objectifs.....	4
<i>Identité territoriale .....</i>	4
<b>B. Réalisation détaillée .....</b>	<b>8</b>
5. Description de la programmation du projet.....	8
6. Travaux menés et résultats obtenus pour chaque action .....	11
<i>6.1 Action 0 : Animation .....</i>	<i>11</i>
6.1.1 Descriptif.....	11
6.1.2 Participants et ressources humaines .....	11
6.1.3 Restitution des études menées.....	15
<i>6.2 Action 1. Concept, théorie et implémentation des réseaux complexes d'interaction.....</i>	<i>20</i>
6.2.1 Descriptif.....	20
6.2.2 Participants et ressources humaines .....	20
6.2.3 Restitution des études menées.....	21
<i>6.3 Action 2. Modélisation des usages des territoires et des mobilités induites .....</i>	<i>44</i>
6.3.1 Descriptif.....	44
6.3.2 Participants et ressources humaines .....	44
6.3.2 Restitution des études menées.....	45
<i>6.4 Action 3. Modèle de développement des territoires, face aux enjeux environnementaux.....</i>	<i>83</i>
6.4.2 Participants et ressources humaines .....	83
6.4.3 Restitution des études menées.....	84
<i>6.5 Action 4. Compétitivité territoriale et complexité des systèmes logistiques ....</i>	<i>121</i>
6.5.1 Descriptif.....	121
6.5.2 Participants et ressources humaines .....	121
6.5.3 Restitution des études menées.....	122
<i>6.6 Action 5. Usine du futur, Application à la logistique .....</i>	<i>151</i>
6.6.1 Descriptif.....	151
6.6.2 Participants et ressources humaines .....	151
6.6.3 Restitution des études menées.....	152
7. Environnement scientifique et diffusion du projet.....	189
<i>7.1 Contrats associés .....</i>	<i>189</i>
<i>7.2 Réunions de fonctionnement du projet.....</i>	<i>190</i>
<i>7.3 Organisation de séminaires, conférences et colloques ; conférenciers invités</i>	<i>194</i>
<i>7.4 Collaborations, partenariats, participations à des réseaux, instituts et groupes de recherche ; activités et impacts à l'international .....</i>	<i>199</i>
8. Publications.....	205
<i>8.1 Publications dans des revues scientifiques .....</i>	<i>205</i>
<i>8.2 Communication en conférences, ouvrages et autres publications .....</i>	<i>216</i>
<i>8.3 Ouvrages, coordination de numéros spéciaux de revues scientifiques et autres publications .....</i>	<i>229</i>

## A. Description du projet

---

### 1. Titre

---

XTERM  
systèmes complexes, intelligence territoriale et Mobilité

### 2. Nom des responsables scientifiques, laboratoires et établissements concernés

---

**Coordonnateurs scientifiques :** Patricia Sajous (IDEES, Université Le Havre Normandie) et Cyrille Bertelle (LITIS, Université Le Havre Normandie)

Un consortium a été développé pour la réalisation de ce projet. Il a réuni depuis son lancement : 139 participants correspondant à 68 permanents, 35 collaborateurs extérieurs et 36 contractuels (doctorants, ATER, IGE ou IGR) issus de 14 organismes de recherche appartenant à 8 établissements (Universités Le Havre Normandie, de Rouen Normandie et de Caen Normandie, Insa de Rouen Normandie, IDIT, NEOMA-BS, CESI, ESIGELEC) :

- CETAPS, université de Rouen Normandie (coordonnateur : L. Seifert)
- IDEES,
  - o Université de Rouen Normandie (coordonnateurs : B. Elissalde, F. Lucchini),
  - o Université Le Havre Normandie (coordonnateur : P. Sajous)
- IDIT (coordonnateur : L. Couturier)
- CUREJ, université de Rouen Normandie (coordonnateur : C. Legros)
- Institut DEMOLOMBE, université de Caen Normandie (coordonnateur : A. Cayol)
- IRSEEM, ESIGELEC (coordonnateur : X. Savatier)
- LINEACT, CESI (coordonnateur : D. Baudry)
- LITIS,
  - o Université Le Havre Normandie (coordonnateur : C. Bertelle)
  - o Insa de Rouen Normandie (coordonnateur : M. Itmi)
- LMAH, université Le Havre Normandie (coordonnateur : M. AzizAlaoui)
- LMI, Insa de Rouen Normandie (coordonnateurs : J.G. Caputo, A. Knippel)
- LMRS, Université de Rouen Normandie (coordonnateur : S. Pergamenchtchikov)
- LMN (ex LOFIMS), Insa de Rouen Normandie (coordonnateur : A. ElHamid)
- MOBIS, NEOMA-BS (coordonnateur : J. Verny)
- GREAH, Université Le Havre Normandie (coordonnateur : J.-F. Brethé)

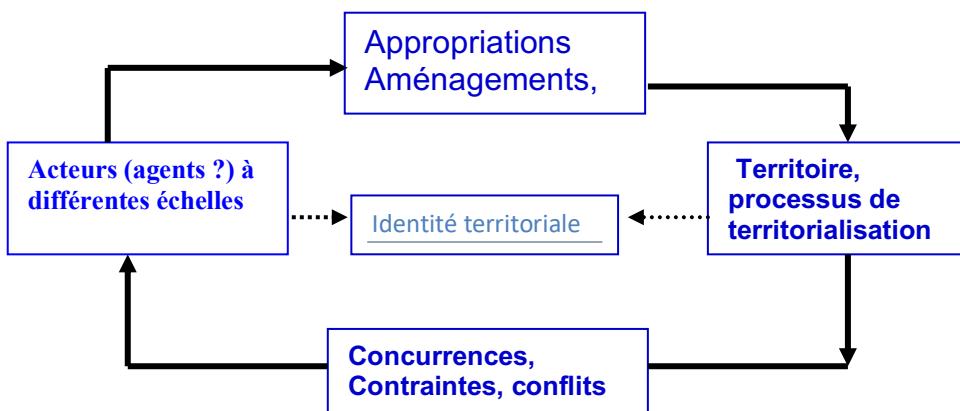
Ce consortium a produit à l'issue du projet, un total de 151 articles dans des revues scientifiques, 179 communications en conférences et 34 autres publications (ouvrages, coordinations de numéros spéciaux de revues, thèses ...) sur les sujets développés dans ce projet. Ces publications sont listées en section 8.

### 3. Durée

Durée réelle du projet (pour le financement Région)	Durée réelle du projet (pour le financement Feder)
- 48 mois - date de démarrage : 01/10/2015 - date de fin : 30/09/2019	- 48 mois - date de démarrage : 01/10/2015 - date de fin : 30/09/2019

### 4. Objets et objectifs

Le projet XTERM aborde la modélisation des systèmes territoriaux et des mobilités associées face aux nouveaux enjeux sociétaux et économiques. Le territoire est le support et le produit d'acteurs au travers d'une boucle de rétroaction qui fait système (voir figure suivante).



Dans cette approche systémique, on considère que la multitude des comportements individuels (acteurs et/ou agents), des mobilités, des intentions finissent par « faire » du territoire (à l'échelle de la ville, du quartier, de la région, etc.), sans que le résultat final ne corresponde obligatoirement aux choix, aux représentations ou aux intentions de certains acteurs. Cette approche nécessite donc l'intégration de la complexité organisationnelle existant au sein de ces systèmes. Elle nécessite également la prise en compte des dynamiques, des évolutions territoriales et sociétales.

**Mots clés** : réseaux complexes, mobilité, compétitivité territoriale, morpho-dynamique, systèmes d'aide à la décision.

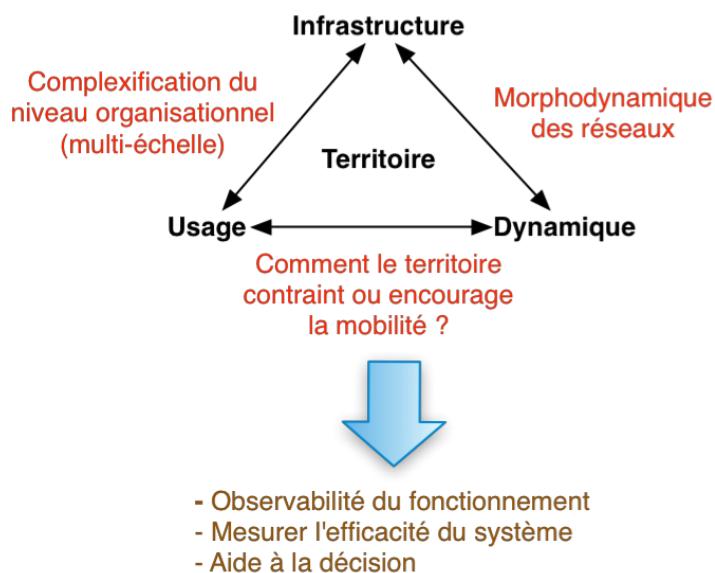
XTERM propose d'apporter des éléments de réponses, riche d'une structuration déjà établie lors du précédent CPER, au sein du projet RISC et de l'année de préfiguration XTERM (campagne GRR 2014) et qui a réuni un grand nombre d'acteurs. Nous allons au-delà d'une vision projet pour poser des problématiques générales sur les structurations territoriales. Nous les abordons par des méthodologies innovantes inspirées des concepts des systèmes complexes. La région Normandie bénéficie de l'institut des systèmes complexes en Normandie (ISCN), nœud bien identifié du réseau national sur les systèmes complexes, en interaction forte avec XTERM. Enfin, XTERM a reçu en juillet 2015 le label du pôle

de compétitivité Nov@log, au titre de sa capacité à alimenter la recherche technologique et l'innovation.

## Méthodologie

Le développement de XTERM s'appuie sur une méthodologie intégrant deux approches complémentaires :

- I. Le développement de réflexions conceptuelles qui permettent d'approcher une représentation des territoires dans leur complexité. On développera ici des outils de représentation de modèles s'appuyant sur des outils mathématiques et informatique ;
- II. le développement d'applications spécifiques ou démonstrateurs qui se positionnent sur un triptyque Infrastructure-Usage-Dynamique, décrit dans la figure suivante pour appréhender les dynamiques territoriales.



La complémentarité entre la partie théorique et le volet applicatif, en s'appuyant sur des formalisations mathématiques, doit permettre de répondre à des problématiques du type : comment identifier et formaliser les effets de seuils qui transforment l'ensemble des possibles imaginables en quelques options réalisables ? C'est-à-dire comment la force des logiques contradictoires finit par produire du compromis, sans produire pour autant de l'entropie ? Comment identifier et formaliser les points de bifurcation qui vont orienter le système (espace urbain, réseau, mobilité d'un individu) vers de nouvelles trajectoires ?

Nous apportons des éléments de réponses à ces questions en développant 6 actions précisées ci-dessous.

## **Action 0 : Animation**

Les approches basées sur les systèmes complexes trouvent leurs développements scientifiques aux interfaces, aux croisements inter-disciplinaires. Ces approches se développent également grâce à un enrichissement mutuel entre concepts innovants et systèmes concrets. C'est à l'occasion de journées scientifiques et de valorisation que ces croisements auront lieu.

## **Action 1 : Concept, théorie et implémentation des réseaux complexes d'interaction**

Les enjeux portent sur l'étude des interactions bidirectionnelles entre topologie/structure et dynamique des réseaux afin de pouvoir donner des éléments conceptuels et théoriques sur lesquels pourront s'appuyer les applications et démonstrateurs ainsi que sur la mesure de l'impact de singularités structurelles et le transfert d'échelle dans des réseaux et systèmes complexes.

## **Action 2 : Modélisation des usages des territoires et des mobilités induites**

L'objectif est de montrer que la modélisation de la mobilité d'un individu et/ou d'un agrégat d'individus contribue à révéler des processus d'émergence et d'auto-organisation, sous tendant tout à la fois des comportements routiniers mais également d'autres inattendus selon que l'environnement présente des régularités spatiales et temporelles, ou au contraire que des évènements ponctuels viennent perturber la mobilité des individus.

## **Action 3 : Modèle de développement des territoires, face aux enjeux environnementaux**

Il s'agit dans l'action 3 d'une part, d'identifier les thématiques porteuses dans le champ de l'évolution urbaine pour des solutions aux problématiques environnementales en matière de mobilité, intégrant la modélisation par systèmes complexes et d'autre part, de rendre la modélisation sensible à la dynamique de ce sujet en très forte évolution.

## **Action 4 : Compétitivité territoriale et complexité des systèmes logistiques**

L'action 4 explore une dimension d'approche multi-échelle en lien avec la compétitivité territoriale et la complexité logistique, généralement inscrits dans le périmètre de l'axe Seine.

## **Action 5 : Usine du futur, Application à la logistique**

Dans le contexte de l'usine du futur (Sûre, Flexible, Connectée et Durable) lié aux défis économiques, sociaux et environnementaux dans une région à forte tradition industrielle, des enjeux importants d'innovations technique et scientifique portent

sur l'optimisation des outils de production, de la logistique et des organisations associées. Cet axe émergent dans XTERM se traduira par des travaux sur l'optimisation d'ateliers de production reconfigurables utilisant des robots autonomes mobiles comme système de transport et de chargement/déchargement de pièces.

## B. Réalisation détaillée

### 5. Description de la programmation du projet

Action	WP / Planning	Livrables
Action 0 Animation	<p>4 journées scientifiques M9 : Juin 2016, M17 : Février 2017, M29 : Février 2018, M41 : Février 2019</p> <p>2 journées valorisation (rencontre scientifique et innovation) co-organisées avec le pôle de compétitivité Nov@log M26 : Novembre 2017, M38 : Novembre 2018</p> <p>1 colloque international M45 : Juin 2019</p> <p><i>Calendrier mis à jour</i></p>	<p>Enregistrements et / ou tout document faisant foi de l'activité scientifique lors des actions d'animation organisées sur la période du projet (coordonnateur : Université Le Havre Normandie)</p> <p>Actes contenant les résumés des interventions des journées annuelles en recherche et en valorisation (coordonnateur : Université Le Havre Normandie)</p> <p>Rapport scientifique final du projet (coordonnateur : Université Le Havre Normandie)</p>
Action 1 Concept, théorie et implémentation des réseaux complexes d'interaction	<p>WP1 – Etude de la dynamique locale dans les réseaux et l'impact de leur topologie : construction de modèles et analyse de la sensibilité des paramètres Coordonnateur : LMI Participants : LITIS, LMAH, LMRS Planning : 01/10/2015 au 30/09/2017</p> <p>WP2 – Développement de processus d'identification de sources dans des réseaux et dans des systèmes dynamiques d'interaction : construction de modèles et mise en place de simulations Coordonnateurs : LITIS et LMAH Participants : LMI, LMAH, LMRS Planning : 01/10/2016 au 30/09/2018</p> <p>WP3 - Processus d'identification de paramètres dans des réseaux complexes déterministes puis dans des réseaux complexes stochastiques Coordonnateur : LMRS Participants : LITIS, LMAH, LMI Planning : 01/04/2018 au 30/09/2019</p>	<p>Etude de la dynamique locale dans les réseaux et l'impact de leur topologie : construction de modèles et analyse de la sensibilité des paramètres Coordonnateur : LMI pour Juin 2017 (Décembre 2017)</p> <p>Développement de processus d'identification de sources dans des réseaux et dans des systèmes dynamiques d'interaction : construction de modèles et mise en place de simulations Coordonnateurs : LITIS et LMAH pour décembre 2018</p> <p>Processus d'identification de paramètre dans des réseaux complexes déterministes puis dans des réseaux complexes stochastiques Coordonnateur : LMRS pour décembre 2019</p>
Action 2 Modélisation des usages des territoires et des mobilités induites	WP1 : Reconnaissance et modélisation de comportements Planning : 2015/2017	<p>WP1 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Modélisation des habiletés perceptivo-motrices en situation contraignante (CETAPS)</li> <li>-Extraction, stockage et mise en forme pour un traitement statistique des données de crowdsourcing (IDEES Rouen)</li> </ul>

	<p>WP2 : Dynamique comportementale en situations routinières et perturbées Planning : 2016/2018</p> <p>WP3 : Modéliser les mobilités Planning : 2017/2019</p>	<p>WP2 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Effet d'une perturbation sur l'organisation spatio-temporelle de la mobilité (CETAPS)</li> <li>-Amélioration et portabilité d'une plateforme de simulation sous environnement GAMA à capacité intégrative (IDEES)</li> </ul> <p>WP3 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Analyse de la dynamique comportementale (CETAPS)</li> <li>-Solutions de visualisations statiques, dynamiques, interactives pour les variations des concentrations spatio-temporelles (IDEES)</li> </ul>
Action 3  Modèle de développement des territoires, face aux enjeux environnementaux	<p>WP1. Synthèse, état des lieux, réseaux d'acteurs M1 à M12, coordonnateur : IDIT</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Recommandations Acteurs éco- mobilité</li> <li>-Protocole de prise de décisions</li> <li>-Synthèse situation actuelle</li> <li>-Récupération des données (juridique, aménagement du territoire, modélisation)</li> </ul> <p>WP2. Développement du protocole et de l'outil de modélisation : M13 à M36, coordonnateur : IDEES Le Havre</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Définition du protocole – cahier des charges fonctionnel</li> <li>-Définition du modèle multi-échelles</li> <li>-Développement outil modélisation</li> <li>-Enquêtes</li> </ul> <p>WP3. Validation auprès des acteurs du territoire / Bilan de l'interdisciplinarité M32 à M48, coordonnateur : IDIT</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Phase de test avec les acteurs du territoire</li> <li>-Conclusions : approche pluridisciplinaire</li> </ul>	<p>Synthèse sur les réseaux d'acteurs (WP1)</p> <p>Rapport restituant le protocole et le démonstrateur (WP2)</p> <p>Rapport et documents relatifs aux conclusions d'une journée d'étude, colloque concernant la validation auprès des acteurs du territoire et le bilan de l'interdisciplinarité (WP3)</p>
Action 4  Compétitivité territoriale et complexité des systèmes logistiques	WP1. Analyse territoriale des systèmes logistiques M1 à M12	<p>WP 1 : Analyse territoriale des systèmes logistiques</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Elaboration d'une ontologie des systèmes logistiques sur un territoire (LITIS, LOFIMS)</li> <li>-Collecte de données chiffrées, réalisation d'une base de connaissance et d'une cartographie des acteurs et des</li> </ul>

	<p>WP2. Etude du couplage économie / logistique M13 à M36</p> <p>WP3. Système d'aide à la décision – Préconisation M31 à M48</p>	<p>flux (MOBIS) -Approche juridique et réglementaire des systèmes logistiques ; Collecte de données ; Audit de pratiques et des usages (IDIT)</p> <p>WP 2 : Etude du couplage économie- logistique -Bilan des données et informations à structurer (LITIS-INSA, LOFIMS) -Analyse des mesures incitatives publiques (MOBIS) -Sélection et analyse des réglementations, jurisprudence et pratiques les plus impactantes ; Benchmarking des pratiques (IDIT)</p> <p>WP 3 : Système d'aide à la décision – préconisations -Simulation d'entreprises proactives intégrant un système de régulation (LITIS-INSA, LOFIMS) -Elaboration d'un écosystème logistique au service de l'économie territoriale (MOBIS) -Préconisations et évolution à court et moyen terme de la réglementation (IDIT)</p>
Action 5 Usine du futur, Application à la logistique	<p>2015-17 : Etat de l'art. Réception des matériels, installation, formations des utilisateurs, recrutement des RH, modélisation de l'environnement sous simulateur</p> <p>2016-18 : Modélisation de la commande du torse humanoïde et du manipulateur mobile sous ROS. Etude du système de supervision.</p> <p>2017-19 : Implémentation sur les robots réels pour un fonctionnement en autonomie</p>	<p>-Manipulateur mobile autonome et étude du système de supervision pour le démonstrateur d'atelier reconfigurable</p> <p>-Simulateur virtuel du fonctionnement d'un entrepôt logistique robotisé sous environnement ROS (modélisation 3D de l'entrepôt, interfaçage avec le WMS, commande des robots)</p> <p>-Application dédiée à la palettisation à l'aide d'un torse humanoïde -Application robotisée pour le picking en entrepôt logistique</p>

## **6. Travaux menés et résultats obtenus pour chaque action<sup>1</sup>**

---

### **6.1 Action 0 : Animation**

---

#### **6.1.1 Descriptif**

##### **Coordonnateurs scientifiques :**

Patricia Sajous (IDEES, Université Le Havre Normandie) et Cyrille Bertelle (LITIS, Université Le Havre Normandie)

##### **Objectif :**

Les approches basées sur les systèmes complexes trouvent leurs développements scientifiques aux interfaces, aux croisements inter-disciplinaires. Ces approches se développent également grâce à un enrichissement mutuel entre concepts innovants et systèmes concrets. C'est à l'occasion de journées scientifiques et de valorisation que ces croisements auront lieu.

**Mot-clés :** systèmes complexes, intelligence territoriale, mobilité, pluridisciplinarité

#### **6.1.2 Participants et ressources humaines**

##### **Laboratoires (14 dans 8 établissements) :**

- CETAPS, université de Rouen Normandie
- CUREJ, université de Rouen Normandie
- Institut DEMOLOMBE, Université de Caen Normandie
- GREAH, université Le Havre Normandie
- IDEES : université de Rouen Normandie, université Le Havre Normandie, université de Caen Normandie
- IDIT, Rouen
- IRSSEM, ESIGELEC, Rouen
- LINEACT, CESI, Rouen
- LITIS, université Le Havre Normandie et Insa de Rouen Normandie
- LMAH, université Le Havre Normandie
- LMI, Insa de Rouen Normandie
- LMN, Insa de Rouen Normandie
- LMRS, Université de Rouen Normandie
- MOBIS, NEOMA-BS, Rouen

##### **Personnels permanents (68) :**

- Abdulrab Habib, LITIS, Insa Rouen Normandie
- Adé D., CETAPS, université de Rouen Normandie
- Ambrosio Benjamin, LMAH, université Le Havre Normandie
- Aziz-Alaoui M.A., LMAH, université Le Havre Normandie
- Bailly-Hascoet Valérie, IDIT, Rouen
- Balev Stefan, LITIS, Université Le Havre Normandie
- Barbu Vlad, LMRS, université de Rouen Normandie

---

<sup>1</sup> Pour la période de remontées administrative et scientifique mentionnées en première page du document

- Baudry David, LINEACT, CESI, Rouen
- Baudry Julien, LITIS, université Le Havre Normandie
- Belhomme Arnaud, LINEACT, CESI, Rouen
- Berred Alexandre, LMAH, université Le Havre Normandie
- Bertelle Cyrille, LITIS, université Le Havre Normandie
- Bonjour Gaëlle, IDIT, Rouen
- Boutteau Rémi, ESIGELEC, Rouen
- Brethé Jean-François, GREAH, université Le Havre Normandie
- Brua Jean-Yves ; LMAR, université Rouen Normandie
- Caputo Jean-Guy LMI, Insa de Rouen Normandie
- Cayol Amendine, Institut DEMOLOMBE, Caen
- Charrier Rodolphe, LITIS, université Le Havre Normandie
- Chollet Didier, CETAPS, université de Rouen Normandie
- Colange C., IDEES, université de Rouen Normandie
- Corson Nathalie, LMAH, université Le Havre Normandie
- Couillet A., IDEES, université de Rouen Normandie
- Couturier Ludovic, IDIT, Rouen
- Decoux Benoit, ESIGELEC, Rouen
- Druaux Fabrice, GREAH, université Le Havre Normandie
- Duval Fabrice, LINEACT, CESI, Rouen
- El Hami Abdelkhalak, LMN, Insa de Rouen Normandie
- Elissalde Bernard, IDEES, université de Rouen Normandie
- Fourati Sonia, LMI, Insa Rouen Normandie
- Freire-Diaz S., IDEES, université de Rouen Normandie
- Gorka Marc, GREAH, université Le Havre Normandie
- Guérin François, GREAH, université Le Havre Normandie
- Hamdi Adel, LMI, Insa Rouen Normandie
- Havard Vincent, CESI, Rouen
- Héault Romain, LITIS, Insa de Rouen Normandie
- Hidalgo Marion, IDIT, Rouen
- Itmi Mhamed, LITIS, Insa de Rouen Normandie
- Knippel Arnaud, LMI, Insa de Rouen Normandie
- Komar J., CETAPS, université de Rouen Normandie
- L'Hermette M., CETAPS, université de Rouen Normandie
- Lanza Valentina, LMAH, université Le Havre Normandie
- Leclerc Edouard, GREAH, université Le Havre Normandie
- Lecoquierre Bruno, IDEES, université Le Havre Normandie
- Lefebvre Dimitri, GREAH, université Le Havre Normandie
- Legros Cécile, IDIT et CUREJ, université de Rouen Normandie
- Leroy D., CETAPS, université de Rouen Normandie
- Letacq Frédéric, IDIT, Rouen
- Louis Anne, LINEACT, CESI, Rouen
- Lucchini Françoise, IDEES, université de Rouen Normandie
- Meriaux Pierre, ESIGELEC, Rouen
- Nasri Yassine (IGE), GREAH, université Le Havre Normandie
- Parede Jean-Yves, GREAH, université Le Havre Normandie
- Pergamenchtchikov Serge, LMRS, université de Rouen Normandie

- Ragot Nicolas, ESIGELEC, Rouen
- Rey S., IDEES, université de Rouen Normandie
- Rossi Romain, ESIGELEC, Rouen
- Sahnoun M'hammed, LINEACT, CESI, Rouen
- Sajous Patricia, IDEES, université Le Havre Normandie
- Seifert Ludovic, CETAPS, université de Rouen Normandie
- Savatier Xavier, ESIGELEC, Rouen
- Smail Hamed, LMRS, université Rouen Normandie
- Thouvarecq Régis, CETAPS, université de Rouen Normandie
- Vasselin Eric, GREAH, université Le Havre Normandie
- Vasseur Pascal, LITIS, université de Rouen Normandie
- Verdière Nathalie, LMAH, université Le Havre Normandie
- Vergne Nicolas, LMRS. Université de Rouen Normandie
- Verny Jérôme, MOBIS, NEOMA-BS, Rouen

***Collaborateurs extérieurs (35) :***

- Ales Z. (Université d'Avignon)
- Bonifazi Marco (CONI, Université de Rome, Italie)
- Bouachari Amel (Université de Skikda, Algérie)
- Button Chris (Université d'Otago, New Zealand)
- Cardon Alain (Pr, retraité)
- Chauvin Christophe (Nov@log)
- Chow Jia Yi (Université de Nanyang, Singapour),
- Croft James (Université Edith Cowan à Perth, Australie),
- Cruz-Pachero G. (Unam, Mexique)
- Davids Keith (Université de Sheffield Hallam, UK),
- Dicks Matt (Université de Portsmouth, UK)
- El Hami Norelislam (ENSA Kenita)
- Fernandes Ricardo (Université de Porto, Portugal)
- Gakkhar Sunita (IIT, Roorkee, India)
- Hauw Denis (ISSUL, Université de Lausanne, Suisse),
- Hmina (ENSA Kenita)
- Mantel Bruno (CESAMS, Université Caen Normandie),
- Mishra Arti (IIT, Roorkee, India)
- Mouatamine Fatima Zahra (Université de Marrakech, Maroc)
- Moussaoui Ali (Université de Tlemcen, Algérie)
- Ouerdia Arkoun (Sup'Biothech, Laboratoire BIRL, Villejuif, France)
- Panayotaros Panos (Unam, Mexique)
- Radouane Yafia (UIZ, Université Agadir, Maroc)
- Rolland Luc (University of West Scotland, Ecosse)
- Rouard Annie (Université de Savoie),
- Terrissa Labib (université de Biskra, Algérie)
- Tridane A. (Elain University, UAE)
- Upadhyay Ranjit Kumar (Indian School of Mines Dhanbad-India)
- Vedova Dario Dalla (CONI, Université de Rome, Italie)
- Vilas-Boas Joao Paulo (Université de Porto, Portugal)
- Yafia Radouane (UIZ, Université Agadir, Maroc)

- Zhang Qunjiao (WTU, Wuhan, Chine)
- Zhang Yichao (Tongji University, Shanghai, Chine)
- Zhao Junchan (ChangSha, Chine)
- Pr Hassabalah (South Valley university, Qena, Egypt)

**Doctorants / ATER / IGE et IGR (36) :**

- ALBOSAILY Sahar, doctorant LMRS (allocation de l'Université de Hail, Arabie Saoudite)
- BAILLET Héloïse, postdoc, CETAPS, (financement FEDER XterM, 7 mois)
- BALTI Aymen, doctorant, LMAH Le Havre (contrat établissement ULHN)
- BEHADILI Suhad Faisal, doctorante, LITIS Le Havre (financement IRAK)
- BELTAIEF Slim, doctorant, LMRS (financement FEDER RISC/XTerM)
- BENALI Khairidine, IGE, GREAH
- CANTIN Guillaume, doctorant, LMAH Le Havre (salarié EN)
- DEMARE Thibaut, doctorant, LITIS Le Havre (Allocation CODAH)
- DUHART Clément, doctorant, LITIS Le Havre (salarié ECE, Paris)
- ED-DAOUI Ilyas (LMN et LITIS), Insa Rouen Normandie (co-tutelle Maroc, bourse Battuta)
- GASNIER S., IGE, IDEES Rouen (financement FEDER XTerM)
- GILLET Olivier, IGE, IDEES Rouen (financement FEDER XTerM)
- GRASSOT Lény, doctorant, IDEES-Rouen (financement FEDER RISC/XterM)
- GUIGNARD Brice, doctorant, CETAPS (contrat établissement URN)
- HAMMAMI Maroua, postdoc, CETAPS, (financement FEDER RISC/XterM, 1 an)
- HARIK EL HOUSSEIN Chouaib, doctorant, GREAH/LITIS (contrat établissement ULHN)
- KHAMES Imène, doctorante, LMI (financement FEDER RISC/XterM)
- LANGLOIS Thibaut, doctorant, IDEES Le Havre (contrat d'établissement ULHN)
- LIAO Yunhua, IGR (10/2018 à 09/2019), LMAH (financement FEDER XTerM)
- LUCAS Iris, doctorante, LITIS Le Havre (salariée)
- MAAMA M., LMAH Le Havre
- MASMOUDI Nesrine, doctorante, LITIS Le Havre (financement co-tutelle Tunisie)
- MALAS Anas, doctorant, LITIS INSA Rouen (co-tutelle Maroc)
- MEDJRAM Sofiane, ATER, Université Le Havre Normandie
- MELL Florian, doctorant, CETAPS
- NAUDIN Lois, doctorant, LMAH Le Havre (contrat établissement ULHN)
- PHAN V.L, doctorant, LMAH Le Havre (contrat établissement ULHN)
- PHILIPPE Julien, doctorant puis IGE, LITIS Le Havre (financement FEDER XTerM)
- RABAI Haifa, doctorante, LITIS Le Havre (contrat établissement ULHN)
- ROCHAT Nadège, doctorante, CETAPS (bourse CIFRE) puis post-doc sur financement FEDER XTerM.
- ROY Parimaita, IGR (02/2019 à 09/2019), LMAH (financement FEDER XTerM)
- SALZE Paul, IGR, IDEES et LITIS Le Havre (financement FEDER XTerM)
- SCHMIDT Adam (post-doctorat), CETAPS (financement FEDER XTerM)
- SIMBANA David, doctorant, CETAPS (bourse CIFRE),
- TALEB Marwa, GREAH
- ZEMZANI Maria, Doctorante, LITIS INSA Rouen (co-tutelle avec le Maroc)

### *6.1.3 Restitution des études menées*

Durant la première année, deux principales tâches ont été accomplies :

1. Mise en place d'un environnement de travail scientifique
2. Tenue d'une journée de lancement scientifique et administrative du projet, le 14 juin 2016

1. La mise en place d'un environnement de travail consiste à offrir un ensemble d'outils collaboratifs permettant de disposer d'une plateforme où l'on intègre les données et écrits des participants qui pour certaines actions, sont localisés dans différents laboratoires et lieux. Cette plateforme collaborative permet donc des interactions distantes avec des séances de travail via des dispositifs numériques. On profite des dispositifs mis en place dans le cadre de l'UniTwin UNESCO CS-DC « Campus numérique des systèmes complexes ». Les premiers outils déployés sont :

- Une liste de diffusion
- Un espace de partage dans un Cloud
- Un dispositif de visio-conférence dédié pour des séances de travail à distance

2. Le 14 juin 2016 s'est tenue à l'université du Havre, au PRSH (Pôle de Recherche en Sciences Humaines et sociales) la journée de lancement du projet. Cela a mobilisé les organisateurs plusieurs semaines en amont pour que cette journée soit une réussite.

La matinée a été consacrée à :

- Une présentation succincte et rappel du texte (c.f. début du présent rapport),
- Une discussion sur la gestion administrative du projet
- Une discussion pour ancrer le projet dans les changements administratifs en cours en 2016 au niveau régional sous l'intitulé « *Avenir d'XTerM dans le contexte d'évolution du soutien à la recherche de la part de la COMUE et de la Région* ».
- Une présentation scientifique du projet où les responsables de chaque action ont fait un cours exposé, servant de base pour des discussions.

L'après-midi a été consacrée à une sensibilisation aux actions de valorisation à partir de l'intervention de notre partenaire Nov@log en la personne de M. Christophe Chauvin. Enfin, un dernier temps de la journée ne concernait que le site havrais sur les questions de politique administrative interne.

29 personnes ont pu assister à cette journée.

Comme inscrit dans le dossier, l'ensemble des pièces relatives à cette journée constitue un livrable joint en sus à ce rapport.

Le bilan de cette journée est positif dans le sens où le dialogue est établi entre les chercheurs, les équipes des actions, les établissements. Ce n'est pas le fait que de cette journée puisque nous avions testé ce dialogue pluridisciplinaire pendant la période 2014 de la programmation du CPER. L'attente est réelle et conduit à faire évoluer les échanges dans cette coordination vers la recherche d'un corpus lexical commun aux membres d'XTerM.

**Entre septembre 2016 et janvier 2017**, l'action d'animation de l'action 0 s'est traduite en deux points.

1) Constitution du dossier pour la remontée de novembre 2016 aux instances FEDER en région

Le travail des responsables du projet a été d'accompagner les responsables scientifiques des actions 1 à 5 pour la constitution d'un rapport scientifique commun. Cela a par ailleurs nécessité la centralisation des données pour les fondre en un seul rapport répondant aux normes FEDER.

En outre, cela a également nécessité un travail concerté avec le responsable administratif du projet. Cela a nécessité en particulier de provoquer une réunion le 29 septembre pour les participants au projet XterM localisés au Havre.

2) Organisation de la journée scientifique pour le premier semestre 2017

Dès la fin de cette tâche, les responsables scientifiques ont jeté les bases de la réunion scientifique devant avoir lieu au premier semestre 2017.

La date du 3 février 2017 a été retenue et lors de la réunion du 24 novembre 2016 entre P. Sajous et C. Bertelle, la trame générale a été déclinée.

Les préparatifs ont abordé les points suivants :

- Lieu et date : 3 février 2017 à Rouen comme tentative pour délocaliser ce type de réunion chez les différents participants au projet.
- Programme de la journée
  - o Réfléchir autour de l'interdisciplinarité ;
  - o Faire un point sur les questions administratives ;
  - o Lancer l'organisation de la remontée de mars 2017 aux instances FEDER en région.

**Entre février 2017 et juillet 2017**, l'animation collective du projet XTerM au sein de l'action 0 a donné lieu le 3 février 2017 à la tenue d'une journée scientifique dont un livrable est rendu en parallèle de la remontée du rapport scientifique général.

Nous reprenons ici quelques points clés de cette journée :

- 23 membres du projet ont assisté à la journée scientifique qui s'est tenu dans les locaux de l'Insa Rouen Normandie.
- Un travail transversal aux actions a été mené sur toute la journée ; il s'est décliné en plusieurs phases d'exposés et de discussions :
  - o Présentation par chaque action d'une part, du ou des concepts fondant XTerM et les caractéristiques retenues de ce/ces concept(s) au sein de l'action, d'autre part, réflexion sur la vision collaborative visant à expliquer et dépasser le positionnement propre à l'action et interroger l'intérêt scientifique de développer les recherches au sein d'XTerM ;
  - o Identification lors des discussions de passerelles et transferts éventuels de connaissances et/ou de méthodes entre disciplines, thèmes, objets de recherche ;

- Recherche de solutions pratiques collectives pour diffuser les résultats (publications, supports de communication, etc.).

Outre le déroulement de cette journée, a été lancée la phase de préparation de la journée de rencontres scientifiques et d'innovation, ouverte à un public plus large que les seuls membres du projet XTerM et qui se tiendra sur la fin de l'année 2017 (titre envisagé : « Les territoires de demain : rencontres scientifiques et d'innovation »). Cela a donné lieu à diverses réunions en mai entre responsables du projet et en juillet entre responsables du projet, des actions et le pôle de compétitivité Nov@log.

Par ailleurs, une opération de diffusion à l'extérieur a été menée : elle a consisté en la présentation faite par les porteurs du projet, Patricia Sajous et Cyrille Bertelle, autour de l'approche pluridisciplinaire de XTerM dans le cadre du colloque Terri'2017 à l'université de Cergy-Pontoise, le 24 mars 2017. En effet, une des sessions du colloque qui portait sur le développement des territoires et de l'intelligence territoriale, mettait en avant une demande de restitution d'expériences et d'approches pluridisciplinaires qui sont perçues comme étant la clé de ces développements mais qui ne sont pas encore à ce jour si couramment développées. Notre présentation a été sélectionnée et elle a été très appréciée par les organisateurs du colloque qui prolongent les discussions pour regarder comment reproduire nos démarches scientifiques et organisationnelles auprès de leurs propres actions de recherche et unités de recherche.

**Entre Août et Décembre 2017**, l'animation collective d'XTerM a donné lieu à 3 actions.

1. La tenue de la rencontre scientifique et d'innovation « Territoires de demain » le 10/11/2017 à l'Hôtel de région de Rouen avec le soutien de Nov@log en présence de 39 personnes.

Un livrable concernant cette journée est remis en parallèle de ce rapport.

2. Un partenariat avec la licence professionnelle d'information et communication de l'IUT de l'Université Le Havre Normandie.

Ce partenariat court jusqu'en mars 2018 pour mettre en cohérence la stratégie et les outils de communication autour du projet. Un groupe de 5 étudiants accompagne les porteurs du projet.

3. Une rencontre scientifique sur le même principe que celle de février 2017 est actuellement en préparation pour le 14 février 2018.

**Entre Janvier et Juin 2018**, l'animation collective d'XTerM a donné lieu à 3 actions.

1. La tenue de la réunion scientifique le 14 février 2018 au Havre en présence de 29 personnes.

Un livrable concernant cette journée est remis en parallèle de ce rapport.

2. Le lancement de la préparation du colloque final du projet XTerM qui aura lieu du 26 au 28 juin 2019 au Havre.

3. Une rencontre scientifique et d'innovation « Territoires de demain » sur le même principe que celle de novembre 2017 est en cours de préparation. Son déroulement est prévu le 29 novembre 2018 à la CCI du Havre.

Un livrable concernant ces 3 actions est remis en parallèle de ce rapport.

**Entre Juillet et Décembre 2018**, l'animation collective d'XTerM a donné lieu à 2 actions.

1. Comme l'année précédente, une rencontre scientifique et d'innovation « Territoires de demain » s'est tenue le 29 novembre 2018 à la CCI du Havre. Cette rencontre a connu un franc succès. En présence d'une soixantaine d'inscrits, de Mme Canet, Directrice de Normandie Valorisation et des 3 pôles de compétitivités basés en Normandie, 5 ateliers se sont déroulés et ont donné lieu à une restitution / discussion en plénière.

2. La préparation du colloque final du projet XTERM qui aura lieu du 26 au 28 juin 2019 au Havre s'est poursuivie. L'ensemble de la procédure a été mise en place et est accessible sur le site internet dédié au colloque :

**<https://xterm2019.sciencesconf.org/>**

Un livrable rendant compte de la journée du 29 novembre est remis en parallèle de ce rapport.

Par ailleurs, depuis juillet 2018, une réflexion pour un achat d'équipement collectif est en cours, au niveau de l'université Le Havre Normandie, pilote du projet. Il s'agit d'acquérir un dispositif permettant de valoriser les démonstrateurs issus du projet, notamment en terme de modélisation et de simulation. Fort de l'expérience des journées de rencontre scientifique et d'innovation « Territoires de demain » qui se sont tenues en 2017 et 2018, et suite aux développements de simulation qui sont en train de se finaliser, il nous semble pertinent de se doter d'outils interactifs permettant à la fois de présenter des démonstrateurs de manière efficace mais aussi de disposer d'un outil de médiation et de réflexion collaborative. Des études de prospection ont été menées et nous ont conduit à nous équiper de la solution proposée par la société UbiKey, start-up hébergée à l'UTC Compiègne qui préconise un dispositif composé d'une table et d'un tableau tactiles de grandes dimensions associés à une suite logicielle multi-utilisateurs. Cet équipement est installé au PRSH de l'Université du Havre dans une salle dédiée et nommée « espace de smart collaboration ». Il a permis la réalisation, entre autres, de rencontre dans la cadre du travail collaboratif qui s'est installé entre les actions 1 et les actions 3 autour de la modélisation de l'écomobilité et de l'impact pour une réflexion stratégique de déploiement de ces études prospectives pour des territoires, notamment des communautés d'agglomération.

**Entre Janvier et Septembre 2019**, l'animation collective d'XTerM a donné lieu à 2 actions.

1. La tenue de la réunion scientifique le 25 février 2019 au Havre en présence de 19 personnes.

2. La poursuite de la préparation et la tenue entre le 26 et 28 juin 2019 du colloque terminal du programme XTerM.

Le colloque s'est donné pour objectif de porter la discussion sur la complexité des systèmes d'interactions, à l'échelle des individus, des organisations ou à celle des infrastructures dans les territoires. En effet, cela conduit à repenser les analyses, les diagnostics et les services aux citoyens et aux opérationnels. En outre, 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.

Des sessions couvrant 5 champs se sont tenues : Réseaux complexes, Espaces d'actions encouragées, Déplacements et complexité, Territoires et mobilité durables, Territoires économiques et industriels.

Le colloque a recueilli une centaine d'inscriptions, a été l'occasion de 34 communications (en 2 sessions parallèles par demi-journée) et d'écouter en formation plénière 7 keynote speakers de rang international (BARTHELEMY Marc, DUPUY Gabriel, FRANKHAUSER Pierre, MELANCON Guy, PUMAIN Denise, RIETVELD Erik, TARTAKOVSKY Alexander).

Compte tenu des retours (informels) reçus par les organisateurs, on peut estimer que ce temps d'échange a été très apprécié. Il était en effet l'occasion d'un rendez-vous pour une communauté à spectre inter-disciplinaire large et qui n'avait pas eu l'occasion de se réunir sur les dernières années. Par ailleurs, les thématiques soulevées ont paru des plus pertinentes.

A la suite du colloque, un projet de publication a reçu l'accord définitif de l'éditeur Springer dans le cadre d'un ouvrage de la collection de référence internationale « Understanding Complex Systems ».

Deux livrables concernant ces deux évènements sont remis en parallèle de ce rapport :

- Un livrable propre au colloque à travers les actes qui ont été constitués à cette occasion.
- Un livrable intégrant le compte-rendu de la journée du 25 février.

Un autre livrable a également été rédigé concernant le bilan de la pluri / interdisciplinarité du projet. Ce bilan est une pièce du livrable de l'action 3 mais comme la participation à la réunion – bilan a été élargie à toutes les actions, nous le faisons aussi figurer dans le livrable de l'action 0.

## **6.2 Action 1. Concept, théorie et implémentation des réseaux complexes d'interaction**

---

### ***6.2.1 Descriptif***

#### **Coordonnateurs :**

M.A. Aziz-Alaoui et Cyrille Bertelle

#### **Objectif :**

Les enjeux portent sur l'étude des interactions bidirectionnelles entre topologie/structure et dynamique des réseaux afin de pouvoir donner des éléments conceptuels et théoriques sur lesquels pourront s'appuyer les applications et démonstrateurs ainsi que sur la mesure de l'impact de singularités structurelles et le transfert d'échelle dans des réseaux et systèmes complexes.

**Mot-clés :** systèmes complexes, réseaux, systèmes dynamiques, modèles d'interaction

### ***6.2.2 Participants et ressources humaines***

#### **Laboratoires :**

- LITIS, université du Havre ;
- LMAH, université du Havre ;
- LMI, INSA de Rouen ;
- LMRS, université de Rouen.

#### **Personnels permanents :**

- Benjamin AMBROSIO, LMAH, université Le Havre Normandie
- M.A. AZIZ-ALAOUI, LMAH, université Le Havre Normandie
- Vlad BARBU, LMRS, université de Rouen Normandie
- Cyrille BERTELLE, LITIS, université Le Havre Normandie
- Alexandre BERRED, LMAH, université Le Havre Normandie
- Jean-Yves BRUA, LMRS, univ. Rouen Normandie
- Jean-Guy CAPUTO, LMI, Insa Rouen Normandie
- Rodolphe CHARRIER, LITIS, université Le Havre Normandie
- Nathalie CORSON, LMAH, université Le Havre Normandie
- Sonia FOURATI, Insa Rouen Normandie
- Adel HAMDI, Insa Rouen Normandie
- Arnaud KNIPPEL, LMI, INSA de Rouen Normandie
- Valentina LANZA, LMAH, université Le Havre Normandie
- Serge PERGAMENCHTCHIKOV, LMRS, université de Rouen Normandie
- Hamed SMAIL, LMRS, univ. Rouen Normandie
- Nathalie VERDIERE, LMAH, université Le Havre Normandie
- Nicolas VERGNE, LMRS, université de Rouen Normandie

#### **Collaborateurs extérieurs :**

- Ales Z., Université d'Avignon
- Arkoun Ouerdia, Sup'Biothech, Laboratoire BIRL, Villejuif, France

- Cruz-Pacheco G., Unam, Mexique
- Gakkhar Sunita (IIT, Roorkee, India)
- Mishra Arti (IIT, Roorkee, India)
- Mouatamide Fatima Zahra, Université de Marrakech, Maroc
- Moussaoui Ali (Université de Tlemcen, Algérie)
- Panayotaros Panos, Unam, Mexique
- Tridane A., Elain University, UAE
- Upadhyay R. K., Ranjit Kumar Upadhyay (Indian School of Mines Dhanbad-India)
- Yafia Radouane, UIZ, Université Agadir, Maroc
- Zhang Qunjiao, WTU, Wuhan, Chine
- Zhao Junchan, ChangSha, Chine
- Zhang Yichao, Tongji University, Shanghai, Chine

***Doctorants :***

- S. Albosaily (allocation de l'Université de Hail, Arabie Saoudite), thèse soutenue le 7 décembre 2018
- A. Balti (allocation établissement), thèse soutenue le 8 décembre 2016
- S. F. Behadili (bourse Campus France, Irak), thèse soutenue le 26 novembre 2016
- S. Beltaief (allocation régionale), thèse soutenue le 8 septembre 2017
- G. Cantin (Salarié EN), thèse soutenue en octobre 2018
- T. Demare (allocation CODAH), thèse soutenue le 26 septembre 2016
- C. Duhart (enseignant en CDI à l'ECE, Paris), thèse soutenue le 21 juin 2016
- I. Khames (allocation régionale), thèse soutenue en septembre 2018
- M. Maama (allocation établissement), soutenance prévue en décembre 2018
- N. Masmoudi (enseignante contractuelle Univ. Sfax), thèse soutenue le 6 janvier 2017
- L. Naudin (allocation établissement), thèse démarrée en septembre 2018
- I. Lucas (CDI à AMF – Autorité des Marchés Financiers), thèse soutenue le 18 juillet 2018
- V.L Phan (allocation établissement), thèse soutenue le 9 décembre 2015
- J. Philippe (allocation régionale), thèse démarrée en septembre 2017 et arrêtée en juin 2018
- H. Rabai (allocation établissement), thèse soutenue le 6 décembre 2016

***Personnel contractuel :***

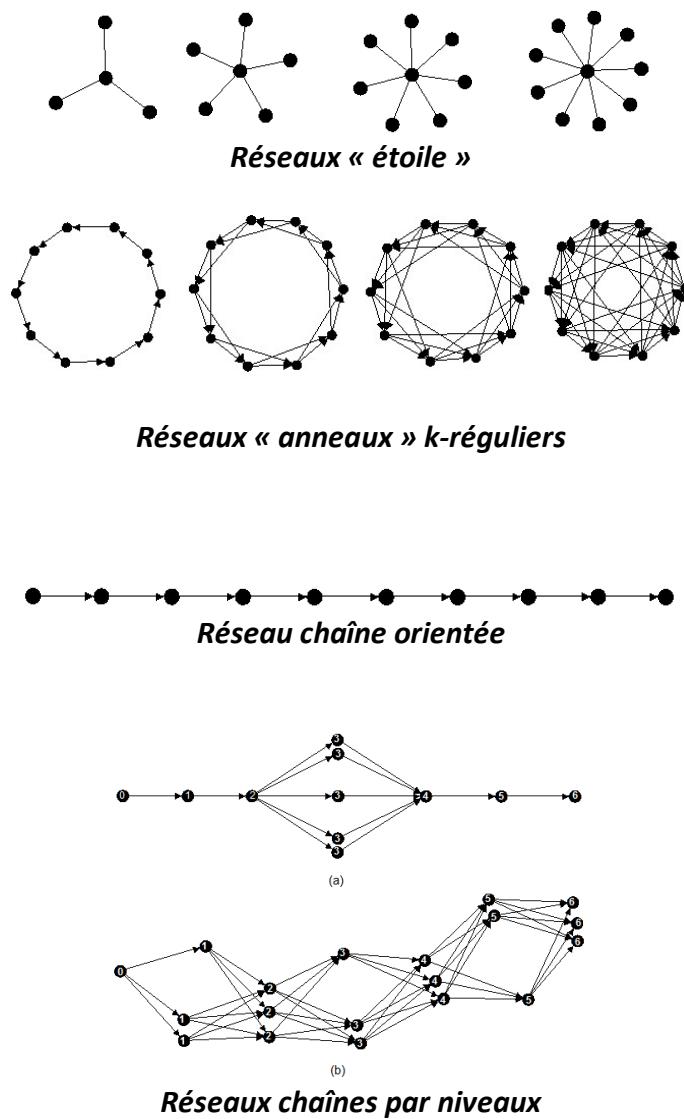
- Paul Salze, IGR (août 2018 à septembre 2019, dans le cadre d'un travail collaboratif avec l'action 3)
- Julien Philippe, IGE (Juillet 2018 à janvier 2019)
- Yunhua LIAO, IGR (octobre 2018 à septembre 2019)
- Parimaita ROY, IGR (février 2019 à septembre 2019)

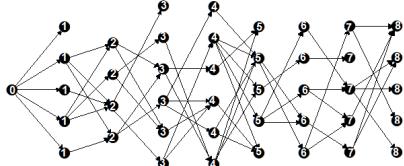
### *6.2.3 Restitution des études menées*

Les approches basées sur les systèmes complexes trouvent leurs développements scientifiques aux interfaces des croisements inter-disciplinaires. Ces approches se développent également grâce à un enrichissement mutuel entre concepts innovants

et systèmes concrets. Les enjeux menés dans cette action visent à apporter des outils « amont » nécessaires pour les autres actions du projet. Ces outils portent sur l'étude des interactions bidirectionnelles entre topologie/structure et dynamique des réseaux afin de pouvoir donner des éléments conceptuels et théoriques sur lesquels pourront s'appuyer les applications et démonstrateurs ainsi que sur la mesure de l'impact de singularités structurelles et le transfert d'échelle dans des réseaux et systèmes complexes.

Ces résultats peuvent être utilisés dans des problématiques concrètes, mettant en valeur différentes dynamiques locales, par exemple en gestion de plateformes logistiques ou services urbains, connectés, avec analyse des architectures de connexion qui peuvent être très variées, comme celles des figures ci-dessous :





**Autre exemple d'un réseau construit par niveaux contenant 42 noeuds distribués dans 9 niveaux. Chaque noeud reçoit seulement le signal des noeuds du niveau précédent.**

**Fig. : Exemples d'architecture de connexion entre entités et de réseaux complexes portés par des graphes**

Dans ce genre de questions, les noeuds du réseau correspondent à la dynamique locale, donc à celle de la plateforme logistique, ou, dans le cas de l'aménagement territorial ou urbain, à celle de la dynamique de la ville, du quartier, etc. Les liens entre les noeuds eux-mêmes (i.e. les couplages), correspondent aux moyens de liaison entre plateformes logistiques, qu'ils soient routiers, maritimes, ferroviaires etc., ou dans le cas de l'aménagement territorial ou urbain aux rues, ponts, etc., les reliant. Dans ce genre de problématique, afin de faire des prévisions sur la fluidification de la chaîne logistique ou sur les différentes activités urbaines ou autres, il est souvent nécessaire de faire des prévisions sur les liens entre noeuds, liens entre plateformes, rues, ponts, etc. On peut souligner comme exemple la coupure du pont Mathilde à Rouen qui a entraîné, de façon brusque, beaucoup de problèmes de circulation en ville. Un lien d'importance dans le réseau a été supprimé et les conséquences sur la dynamique ont été innatendues en raison des réactions en chaîne des usages du réseau routier qui opèrent de manière non linéaire. Des concepts théoriques comme la notion de bifurcation permettent de traduire ou d'expliquer ces processus non linéaires. Ainsi, une des questions à laquelle on répond dans cette action est la suivante : Peut-on savoir, à l'amont, comment garder ou anticiper une dynamique générale valide, malgré de tels changements brutaux dans la topologie (la structure) du réseau général ? Nos résultats, comme il est stipulé plus haut, confirment la possibilité de disposer de moyens dans ce but et apportent de critères fondamentaux applicables à ces problématiques.

Cette action se découpe en 3 workpackages :

**WP1 : Etude de la dynamique locale dans les réseaux et l'impact de leur topologie : construction de modèles et analyse de la sensibilité des paramètres.**

Coordinateur : LMI

Participants : LITIS, LMAH, LMRS

Planning : 01/10/2015 au 31/09/2017, compléments jusqu'en 09/2019

**Etude de la génération et de l'analyse structurelle de réseaux complexes**

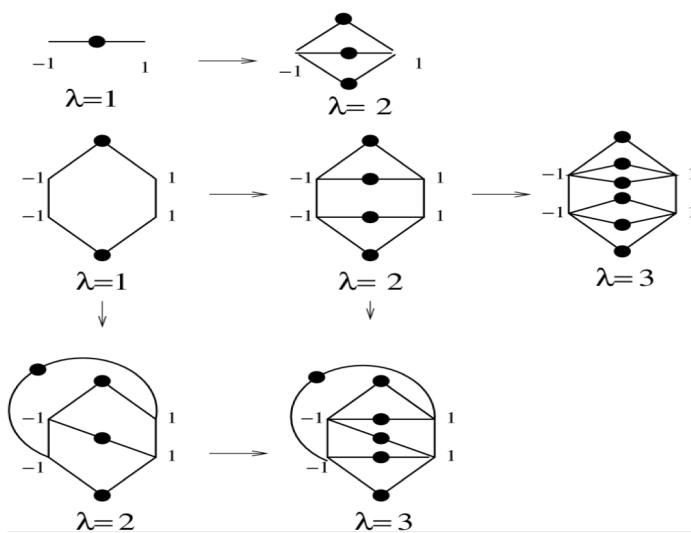
Cette étude a fait l'objet du travail de Yunhua Liao dans le cadre de son recrutement en tant que post-doc (ingénieur recherche) au LMAH. Trois publications ont été finalisées dans des revues scientifiques internationales de bons niveaux et cinq sont

en cours d'évaluation ou en fin de rédaction. Les polynômes de Tutte ont été utilisés pour construire des trames de constructions récurrentes mettant en évidence des propriétés de self-similarités. D'autres travaux ont porté sur des réseaux hiérarchiques de type petit monde. Il a été aussi élaborer des méthodes de vérification de propriété d'optimalité pour une contrôlabilité exacte des réseaux. Les publications correspondantes sont mentionnées dans la section 8.

### Classification des graphes lambda-mous minimaux

Ce travail fait l'objet d'articles publiés (voir section 8 de la bibliographie). Ces travaux ont notamment été présentés à la conférence 'The Second Malta Conference in Graph Theory and Combinatorics' (26-30 juin 2017) et à WANCSA'2017.

Nos travaux se basent sur la notion de noeuds mous pour un réseau : ce sont des noeuds qui correspondent à une composante nulle pour un vecteur propre du Laplacien de graphe du réseau. Cela traduit l'innéficacité d'un forçage ou d'une dissipation localisée en ce noeud. Nous avons aussi exhibé des petits graphes ayant la propriété selon laquelle tout graphe auquel ils sont connectés a alors des noeuds mous pour des valeurs propres et vecteurs propres (du Laplacien du graphe) déterminés par la seule nature du petit graphe, sans qu'il soit besoin de calculer numériquement les valeurs et vecteurs propres. Ceci est unique dans la littérature. Nous avons poursuivi la classification de graphes minimaux pour des graphes de petite taille et pour certaines classes simples de graphes (chaînes, cycles, grilles) en les classant par valeur propre pour lesquels ils possèdent un noeud mou. Nous avons défini des transformations qui lient les membres d'une classe. Cette classification permet d'envisager de détecter des noeuds mous dans un graphe général et de trouver des valeurs propres et vecteurs propres de façon combinatoire et exacte et non plus numériquement. Ceci pourrait avoir des conséquences importantes pour les applications en transport d'électricité, de fluides ou pour l'étude du trace routier.



**Illustration 1: Exemple de graphes mous obtenus par un opérateur d'échelle qui augmente la valeur propre d'une unité.**

Dans la suite, on continue à explorer des études d'analyse de structures de réseaux ou de graphes pour lesquels les premières applications ont porté sur des réseaux électriques qui peuvent servir d'analogie à des phénomènes de circulation urbaine par exemple.

### **Réduction du modèle "Load-flow" pour les réseaux électriques**

Avec Nicolas Retiere de Grenoble, nous avons approximé les équations du réseau électrique dites "Load-flow" pour se ramener à un problème du type,

$$\Delta\theta = P$$

où DELTA est le Laplacien du graphe associé au réseau et P est le vecteur de puissance. Cette formulation très simple nous aidera à estimer les lignes critiques, à positionner les générateurs futurs ainsi qu'à délester de façon optimale. Un article est en cours de rédaction avec Han Truc doctorant à Grenoble. L'étude de plusieurs réseaux IEEE indique qu'un petit nombre de modes est suffisant pour approcher la solution du Load-flow. Une étude sur des grilles a permis d'analyser le problème. Tous ces résultats ont été publiés dans deux articles en 2019.

Nous avons poursuivi cette étude avec le stage Master d'Illiass Aymaz, étudiant de Master of Mathematical Modeling of Complex Systems, Universitat Koblenz-Landau Mars 2019-Juillet 2019 qui a étudié le placement optimal de générateurs sur le réseau.

### **Modèle numérique pour le partitionnement de graphe**

Nous avons étudié des systèmes dynamiques dans des graphes de petite taille. Une piste pour étudier des graphes généraux est de les partitionner en petits graphes. Un nouveau modèle mathématique a été proposé pour ce problème NP-difficile, qui étend la formulation arête-représentant utilisée dans la thèse de Zacharie Ales. Cette formulation a de bonnes propriétés numériques. Un article a été publié (voir section 8). Nous avons testé ce type de méthodes pour le partitionnement de réseaux électriques

### **Comportement non linéaire de réseaux**

Nous examinons le couplage de modes dans un réseau. Avec Imene Khames, doctorante financée par la région, nous examinons sur l'équation de Klein-Gordon

$$u_{tt} - \Delta u + u^3 = 0$$

comment se couplent les modes linéaires sous l'action de la non linearité. Nous avons obtenu des équations d'amplitude pour les cycles et les chaînes ainsi que les conditions de résonance et avons mené une étude numérique pour les cycles et chaînes de 3, 4, 5 et 6 sommets en comparant ces modèles réduits avec les solutions numériques de l'équation de départ.

Certaines conditions de résonance ont été démontrées, via la théorie de Galois par Guillaume Duval. Une partie de ces résultats a été présentée à la conférence internationale "Conference on complex systems" à Amsterdam, en septembre 2016.

Imene Khames a passé un mois à l'UNAM à Mexico et cela a permis de ré-orienter notre approche. Ainsi, nous avons généralisé à des graphes quelconques les solutions périodiques nonlinéaires qu'Aoki a obtenu sur des chaînes et des cycles. Celles-ci sont associées à des vecteurs propres à composantes dans  $\{0,1,-1\}$ , que nous appelons bivalents  $\{1,-1\}$  et trivalents. L'étude de la stabilité de ces solutions révèle encore le rôle important des noeuds mous. Ce travail est paru dans la revue internationale Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical et a été présenté à WANCSA'2017. Une caractérisation des graphes bivalents et trivalents a été obtenue. Un article a été soumis et ces résultats ont été présentés à la conférence ROADEF ainsi qu'à la conférence WGSCO2018 - Workshop on Graph Spectra, Combinatorics and Optimization.

Nous avons obtenu des solutions localisées de l'équation de Klein-Gordon ci-dessus en partant d'une condition initiale localisée sur un nœud. L'évolution est alors décrite par l'équation différentielle nonlinéaire du nœud excité et le système linéaire forcé représentant le reste du réseau. Cette modélisation a été validée par l'analyse et le calcul et a permis de déterminer le comportement localisé ou non, suivant les paramètres. Ces travaux ont été présentés au workshop Nonlinear localisation in lattices à Spetses en Juin 2018 et à Taiwan lors de la conference AIMS 2018. Un article reprenant ces résultats vient d'être accepté par le Journal of Physics A math and general.

### **Modélisation et analyse qualitative des systèmes complexes de réactions chimiques.**

Nous avons proposé une modélisation de ces systèmes sous forme de graphes. Le stage de Mohamed Amcharhal (Mars-Septembre 2017) au LMI a permis de valider la modélisation et le développement de plusieurs approches basées sur la théorie algorithmique des graphes pour la recherche d'informations qualitatives dans ces systèmes complexes. Nous avons amélioré la modélisation et le code avec le stage de Meziane Arezki Master 2 Calcul Scientifique, Université de Reims Champagne Ardennes, « Algorithmes de Graphes pour l'Etude de Systèmes Complexes en Chimie et Biologie »

### **Etude des réseaux complexes génériques via la théorie des polynômes sur graphe et des spectres de graphes**

Suite au recrutement d'un post-doc, Yunhua LIAO en septembre 2018, nous avons renforcé le volet théorique dans ce projet, en étudiant les réseaux complexes génériques, via la théorie des polynômes sur graphe et des spectres de graphes (*graph polynomials and graph spectrum*).

Nous nous sommes ainsi penchés, en particulier, sur le cas des polynômes de Tutte de deux modèles sur réseaux d'interaction auto-similaires, et sur leur comportement sur graphes sous cinq opérations spécifiques, rencontrées dans certaines applications spécifiques.

La question d'importance du remplacement de bord d'un réseau et du nombre d'arbres couvrants un réseau hybride, créé par une itération interne-externe, a été largement développé. C'est une question très concrète qui trouve des applications naturelles à chaque fois qu'il est question d'un réseau dynamique évoluant au cours du temps ou par rapport à un autre paramètre.

Enfin dans le cas des réseaux complexes hiérarchiques (en particulier de type petit monde), la vitesse de convergence, robustesse et cohérence des délais qui soulignent une forme de consensus dans les réseaux ont été analysés.

Nous continuons en ce moment à travailler sur ce dernier point et sur la problématique essentielle, qui a beaucoup d'applications, celle de la découverte de motifs spécifiques et des phénomènes de consensus sur réseaux complexes.

Au cours de cette période, quelques articles de recherche ont été soumis ou en cours de finalisation :

1. Yunhua Liao, Xiaoliang Xie, Yaoping Hou, M.A. Aziz-Alaoui, Tutte polynomials of two self-simialr network models, Journal of Statistical Physics, in press.
2. Yunhua Liao, M.A. Aziz-Aloui, Junchan Zhao, Yaoping Hou, The behavior of Tutte polynomials of graphs under five graph operations and its applications, Applied Mathematics and Computation, Submitted.

**WP2 – Développement de processus d'identification de sources dans des réseaux et dans des systèmes dynamiques d'interaction : construction de modèles et mise en place de simulations**

Coordinateur : LITIS et LMAH

Participants : LMI, LMAH, LITIS, LMRS

Planning : 01/10/2016 au 31/09/2018, prolongé jusqu'en 01/2019

Le problème de détection de sources dans un réseau et dans des systèmes dynamiques est un cas d'étude qui relève du contrôle de ces réseaux ou systèmes dynamiques. Par ailleurs, pour aboutir à la détection de source, il est souvent nécessaire de commencer par analyser les structures spatiales développées par l'interaction entre entités.

C'est à partir de ce constat que nous avons finalement étendu les approches de ce WP 2 de la manière suivante :

WP2.A - Contrôler un réseau d'interaction en faisant synchroniser « ses entités » (les noeuds) entre elles, ceci en les amenant toutes à « copier » une dynamique souhaitée (de non panique par exemple dans les cas de mouvement de foule). On s'intéresser à détecter des topologies caractéristiques de phénomènes de synchronisation qui sont d'intérêt pour comprendre les dynamiques des réseaux et leurs sources.

WP2.B - Prévoir et analyser les structures spatiales développées par l'interaction entre entités.

WP2.C – Analyser la propagation des fronts de processus dynamiques (épidémies, évacuation de populations)

WP2.D - Etudier les modes de diffusion de perturbations dans un réseau qui relèvent des problématiques connues sous le nom de défaillance en cascade ; le problème inverse consiste alors à identifier la ou les sources de ces perturbations dans des réseaux à partir des observations temporelles de leurs nœuds qui subissent des perturbations de manière dynamique.

WP2.E - Etude de l'impact de la propagation émotionnelle sur les dynamiques de foule

WP2.F - Etude de la résilience et de la robustesse des systèmes complexes appliqués à la simulation de marchés financiers.

WP2.G - Etude mathématique du comportement humain pendant des catastrophes avec simulation d'évacuation sur des réseaux viaires.

WP2.H - Etudier le problème inverse de propagations d'ondes forcées dans un graphe afin d'identifier la source de ces ondes.

### **WP2.A - Contrôle de réseaux et Synchronisation. Identification de topologies de réseaux et synchronisation.**

Un des résultats importants obtenus en 2016, concerne l'identification des topologies de réseaux d'interaction.

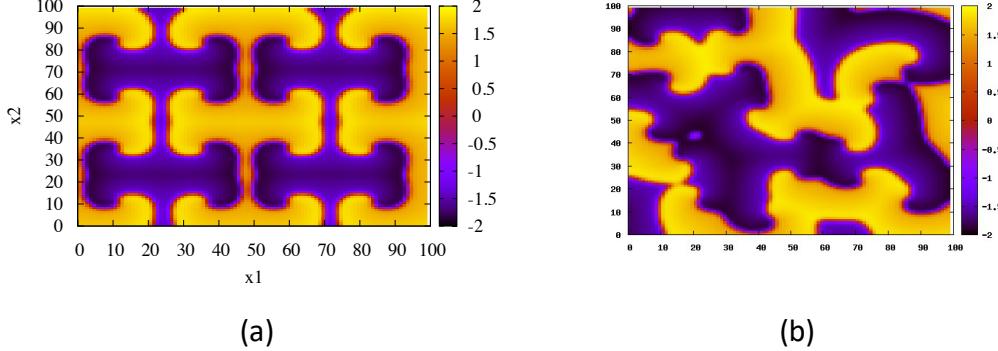
- Dans l'article [Zhao etal] (Zhao, J., Aziz-Alaoui M.A., Bertelle C., *Sinusoidal disturbance induced topology identification of Hindmarsh-Rose neural networks, Science China, Information Sciences, Vol.59, 2016.*) nous avons développé une nouvelle méthode utilisant la perturbation sinusoïdale pour identifier la topologie de réseaux complexes, via des techniques de synchronisation. Pour ce faire, nous introduisons des perturbations sur certains noeuds du réseau étudié, et comparons alors à un réseau cible pour remonter à l'inconnue, en l'occurrence la topologie cherchée. Ce travail est aussi validé par des simulations numériques.

- Par ailleurs, dans un autre article de 2016 [Zhang et al] (Zhang Q., Aziz-Alaoui M.A., Bertelle C., (2016), *Synchronization for networks of coupled nonlinear systems with external disturbances, IMA JOURNAL of Mathematical Control and Information, Vol. 33(2), pp :191-207*), nous apportons de nouveaux critères assurant la synchronisation robuste de systèmes complexes couplés selon différentes topologies, ceci en utilisant la théorie des « sliding modes » après avoir incorporé des perturbations extérieures au système.

### **WP2.B - Morphologie spatiale et motifs (patterns) pour des systèmes complexes multi-échelles :**

Dans cette partie nous nous sommes intéressés à la question importante de la morphologie spatiale exhibée par des systèmes complexes (ici des systèmes dynamiques de réaction-diffusion -EDP- ) pouvant modéliser des situations concrètes abordées dans ce projet, mais dans le cas où le système complexe général subit des échelles de temps différentes, on dit lent-rapide dans le cas présent. Ainsi, sur le plan fondamental, il a fallu travailler sur la caractérisation du bassin d'attraction de solutions de ces modèles. Nous caractérisons quelques sous-ensembles des conditions initiales qui empêchent le système dynamique complexe à se développer asymptotiquement vers les solutions qui sont homogènes dans l'espace (voir figure

ci-dessous). Nous avons aussi validé ce travail par de longues simulations numériques qui illustrent des résultats théoriques et montrent des solutions symétriques ou non symétriques. Nous obtenons ces dernières solutions en choisissant des conditions initiales aléatoires particulières.



**Fig. : Comportement spatial d'un système modélisé par un réseau d'EDP (équations aux dérivées partielles) permettant de décrire et d'analyser la distribution spatiale des espèces étudiées. Plus la densité est forte, plus la couleur est foncée. Deux évolutions sont observées, suivant les valeurs de paramètres critiques : (a) une distribution symétrique, (b) une distribution non-symétrique.**

### WP2.C - Analyse de la propagation de fronts de processus dynamiques (épidémies, évacuation de populations).

Avec Gustavo Cruz et Panos Panayotaros de l'Universidad Autonoma de Mexico nous avons analysé la propagation d'un front de réaction-diffusion bistable sur un graphe arbitraire. Nous avons démontré l'existence de points fixes( multi-fronts) arbitraires si la diffusion est faible. Nous avons aussi étudié des bifurcations de pliage donnant lieu au décrochage de ces fronts et établi un critère de décrochage. Actuellement nous analysons un modèle d'épidémie plus réaliste à la Susceptible-Infected-Recovered (SIR) pour dégager des critères de déclenchement d'une épidémie sur un réseau. Ce travail est fait avec Fatima Mouatamide, doctorante à l'université de Marrakech. Un poster a permis de présenter les premiers résultats à WANCSA'2017. Actuellement, nous analysons des stratégies de vaccination de villes. Il semble que le degré du noeud soit particulièrement important pour que l'épidémie décline ou non.

Par ailleurs, le travail de Parimita Roy, dans le cadre de son travail de post-doctorante (ingénierie recherche) au LMAH, avait pour objectif d'exploiter la puissance de la théorie des réseaux complexes afin d'obtenir de nouvelles informations sur la manière dont la maladie infectieuse se propage dans des villes ayant différentes connexions topologiques. Nous avons élaboré des modèles de réseaux complexes d'épidémies pour décrire la propagation spatiale de l'épidémie dans les villes en raison de la dispersion de la population. Les résultats montrent que la théorie des réseaux complexes peut constituer un outil puissant pour apporter des implications prometteuses à la recherche dans les domaines de la santé et à la

conception de la politique de migration. Un article de revue est en préparation sur ce sujet.

**WP2.D - Etude les modes de diffusion de perturbations dans un réseau connus sous le nom de défaillance en cascade et étude du problème inverse consiste alors à identifier la ou les sources de ces perturbations dans le réseau.**

De nombreux problèmes de la diffusion d'information, de rumeurs, de maladies ou de virus qui ont pour environnement l'internet, les réseaux sociaux réels ou virtuels ou encore les réseaux de communications, sont modélisés par des graphes dans lesquels les nœuds représentent les agents et les arcs représentent les interactions entre ces agents. Dans ces modèles, les nœuds de ces graphes possèdent des états discrets ou continus qui peuvent être modifiés par le processus de diffusion existant au sein du graphe.

Les défaillances en cascade sont des exemples de propagations dans des réseaux qui sont non désirés. Pour lutter contre ces défaillances, on recherche des outils de contrôle soit en agissant sur la dynamique, soit encore en agissant sur la topologie du réseau. Les cas applicatifs sur les territoires sont nombreux : les réseaux routiers, les réseaux électriques, la propagation de la panique dans une foule. De nombreux exemples ayant conduits à des situations critiques font légion et l'intérêt d'outils de contrôle, en commençant par mieux identifier la ou les sources, n'est plus à démontrer. C'est la complexité des phénomènes mis en jeux qui reste le verrou essentiel et savoir la traiter est un challenge pour les scientifiques de la science des systèmes complexes.

Les travaux de thèse de Haifa Rabai (voir référence section 8.3) ont été développés pour relever ces défis. Dans ces travaux, deux grandes parties ont été développées :

- La première partie propose un modèle de propagation qui s'appuie sur un réseau d'agents spatialisés à états continus. La dynamique du réseau d'interaction créé à partir de la perception des agents, se modélise par un réseau d'itérations couplés (connu dans la littérature scientifique sous le nom de systèmes d'oscillateurs non linéaires couplés à temps discret). Un agent est donc caractérisé par un état qui évolue dynamiquement, cet état peut être stable, périodique ou encore chaotique caractérisant son emprise à une perturbation. L'évolution de l'état d'un agent à un pas de temps donné, se fait en faisant évoluer son état interne par une application logistique et par un couplage avec les états des autres agents avec lequel il est en relation via le réseau d'interaction.
- La seconde partie consiste en ce que l'on appelle le problème inverse : on dispose d'informations (séries temporelles) des états d'un ensemble d'agents dont les modalités d'évolution sont censées suivre le modèle de propagation décrit dans la première partie. Il s'agit alors d'une part de pouvoir détecter la nature chaotique des agents (en utilisant des éléments de la théorie de l'information, à savoir l'entropie de Shannon), puis d'autre part, retrouver les modalités d'interaction des agents perturbés pour identifier la source de cette perturbation. Un algorithme original a été proposé, se basant sur des

schémas de proche retour. Une analyse de sensibilité de paramètres du modèle sur le processus de détection de source a été réalisée, ainsi que l'impact de la topologie du réseau sur ce processus.

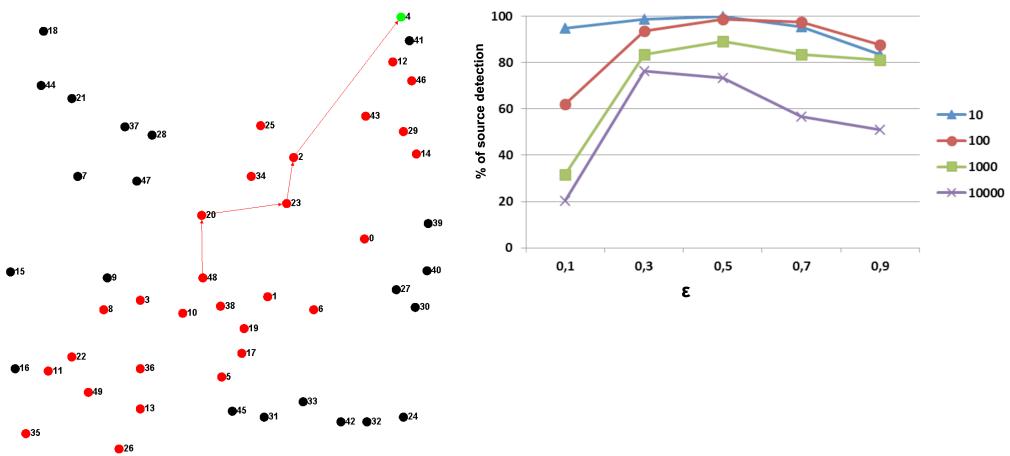


Figure 1: A gauche, illustration de l’algorithme de détection de source perturbative dans un réseau d’interaction de topologie inconnue : partant d’un noeud impacté quelconque, on peut “remonter” la perturbation jusqu’à son origine.

## **WP2.E - Etude de l'impact de la propagation émotionnelle sur les dynamiques de foule**

Le stage de master 2 de Julien Philippe a repris des éléments des premiers résultats de la thèse de Haifa Rabai afin de les appliquer à des modèles de diffusion de panique dans une foule basée sur le modèle de Helbing. Ce modèle fait référence sur le sujet et se base sur la notion de force sociale entre les différents individus qui interagissent entre eux et avec leur environnement. Il propose dans l'une de ses versions, une formulation introduisant un terme de nervosité qui confère aux individus un comportement plus réaliste notamment lorsque des phénomènes de stress collectifs interviennent. Nous proposons une reformulation originale de ce terme de nervosité en lui conférant l'aptitude de propager des états émotionnels entre les individus. Julien Philippe a été recruté à partir du 1<sup>er</sup> septembre 2017 pour compléter ce travail dans le cadre d'une thèse co-encadrée par Cyrille Bertelle et Rodolphe Charrier, venant ainsi renforcer les travaux du WP2 de l'action 1 du projet XTerM.

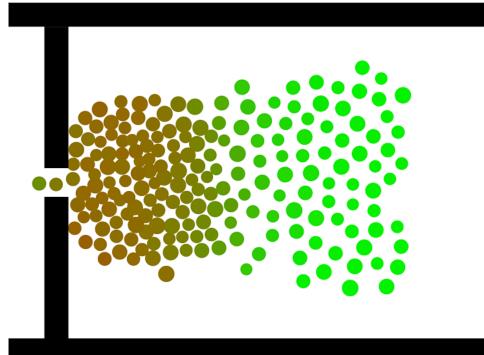
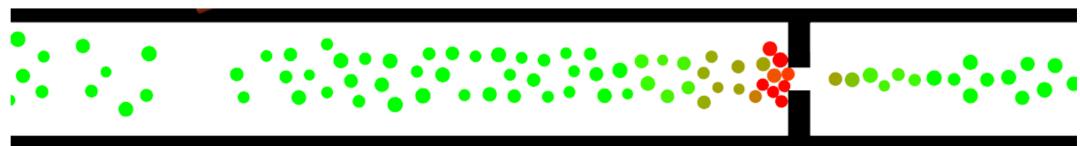
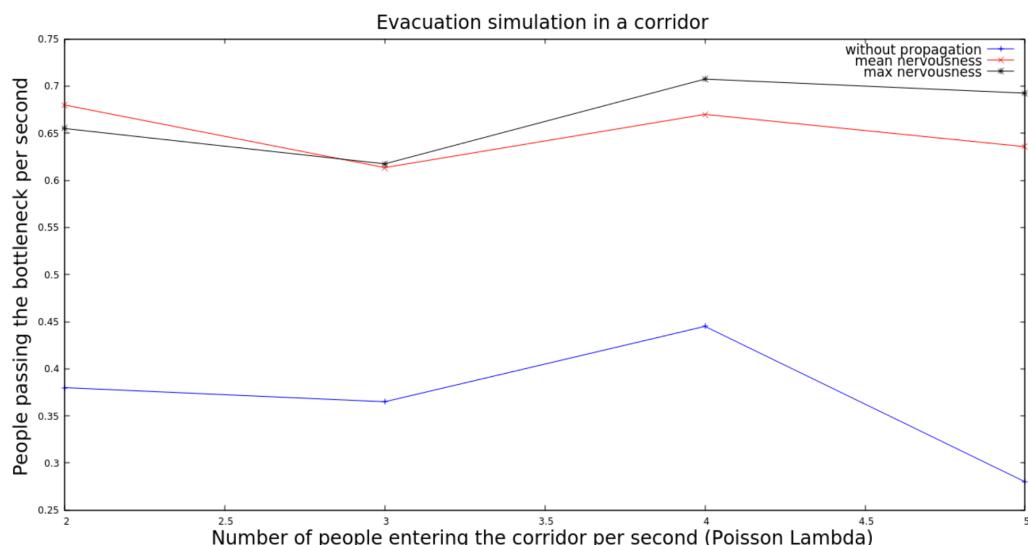


Figure 2: Simulation de la création d'un engorgement lors du déplacement d'une foule (de la droite vers la gauche sur la figure) en milieu confiné. La nervosité des agents est représentée par une couleur qui va du vert (peu nerveux) au rouge (très nerveux).



(a) Simulation snapshot : agent's color depend on his nervousness, from quiet green to nervous red

Figure 3 : Autre configuration de simulation représentant le une foule de piétons franchissant une porte dans un couloir (analysé et présenté à BIFI 2018)



(b) Number of people passing the bottleneck per second : simulations with propagation show better efficiency

Figure 4: Analyse de l'impact de la présence de nervosité avec ou sans propagation dans le cas représenté dans la figure précédente (présenté à BIFI 2018)

Un modèle original a donc été élaboré et décrit un phénomène de propagation de la nervosité qui n'est représenté dans la littérature que comme un phénomène propre à la seule cinématique interne des individus (par comparaison entre leur vitesse désirée et leur vitesse espérée). Sur les deux figures précédentes, on analyse assez finement l'impact de la manière de prendre en compte le phénomène de nervosité, avec ou sans le processus de propagation que l'on suggère. Cette propagation redonne de l'efficacité à un processus d'évacuation ; l'introduction de la nervosité

individuelle et non propagée dans la littérature ayant pour effet connu, sa capacité à augmenter les phénomènes de blocage dans les processus d'évacuation. Ces travaux ont été présentés par J. Philippe, R. Charrier et C. Bertelle dans la conférence internationale BIFI 2018 à Saragosse en Espagne ; cette conférence est identifiée comme étant une référence pour présenter et prendre connaissance des toutes récentes recherches sur les réseaux complexes et les comportements collectifs.

A partir de ces premiers résultats, Julien Philippe, dans le cadre de son statut d'ingénieur d'étude, développe un outil de simulation qui utilise la plateforme GAMA. A cette étape, il s'agit de reprendre un modèle développé sous forme de prototype et de le rendre plus opérationnel et accessible pour son déploiement en terme d'ingénierie afin de disposer en fin du projet XTerM d'un outil capable d'être couplé à des simulations de dynamique urbaine. Cette évolution se traduit par la résolutions d'un certain nombre de problèmes pour passer de la version prototype à la version d'ingénierie :

- Lancer une série de simulations avec un nouveau paramétrage requiert une modification directe dans le code couplé avec la rédaction d'un fichier au format XML, lancé avec un fichier Shell. Cela rend lourd le processus de lancement d'expérimentation et peu lisible l'historique des paramétrages.
- Les résultats des simulations sont stockés dans des fichiers au format csv, et sont analysés par des scripts Python. Cela rend également lourd le processus d'analyse des résultats d'expérimentation. Cela pose aussi des problèmes d'organisations et de traçabilité des résultats.
- Enfin, pour des raisons de lisibilité les données enregistrées par le simulateur sont des valeurs moyennes sur le déroulé de la simulation. Ainsi, cela rend impossible l'utilisation de résultats initiaux des simulations pour un post-traitement.

Des solutions ont donc été proposées et sont en phase de développement :

Pour répondre à la fois au problème de paramétrage ainsi qu'à celui de stockage/analyse des résultats, la solution proposée fut de se reposer sur une Base de Données. Cette base sert à stocker le paramétrage des simulations, à stocker les résultats des simulations, et même à terme à piloter le processus de lancement de plan d'expérience sous la forme de séries de simulation. Cette base permet l'ajout de nouveau paramètre mais aussi l'adaptation à des modifications dans le modèle de simulations (et notamment permettre la coexistence de modèles différents dans la simulation). Elle permet enfin de rejouer des simulations précédemment calculées, en lisant les données stockées en base depuis la plateforme Gama. Cela évite un recalcul beaucoup trop long pour une visualisation efficace.

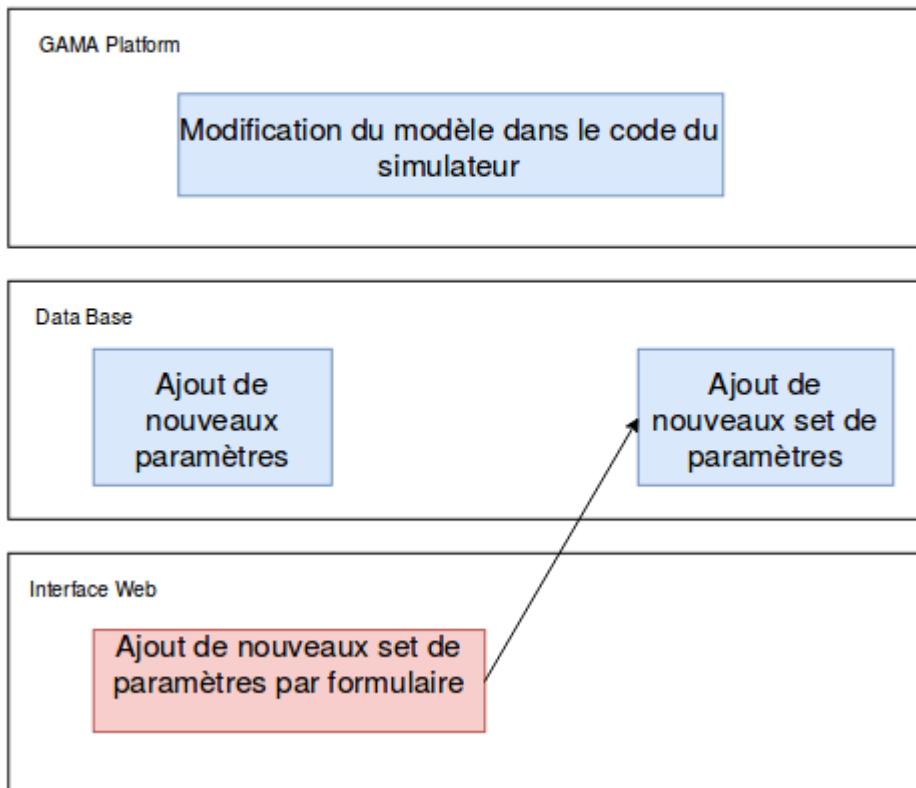
En plus de la base de données, une interface web permet un accès simplifié aux résultats. Elle facilite l'utilisation pour tout besoin de démonstration du modèle ou des simulations.

Dans la suite, nous rentrons dans une description plus technique des process mis en place.

## Présentation globale du process expérimental (et état d'avancement en Janvier 2019) :

Pour l'illustration qui suit, les fonctionnalités aux fonds bleu sont déjà opérationnelles, celle aux fonds rouges sont en cours de développement.

### CONFIGURATION



Le simulateur, la base de données et l'interface WEB tournent sur une machine virtuelle (VM).

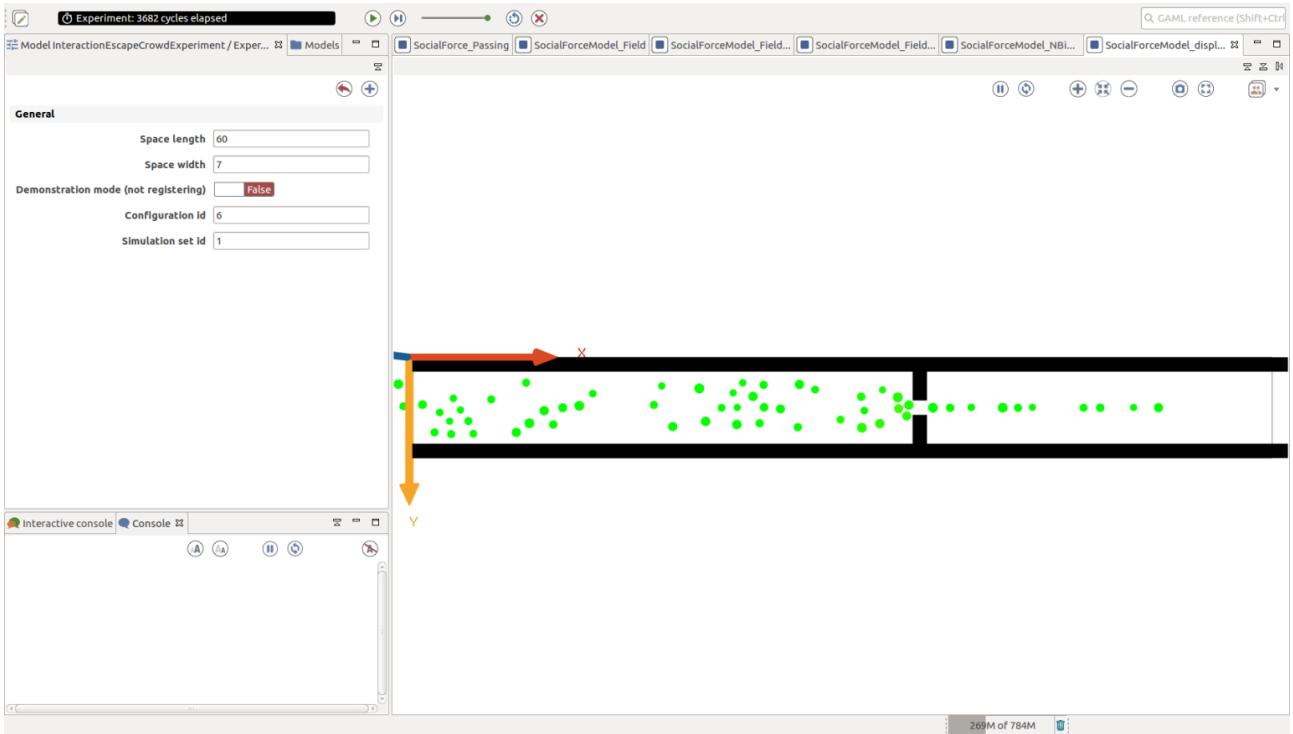
#### Avancées du développement de l'application sur la plateforme GAMA :

Si aucune modification n'a été faite au cœur de l'application fondé sur la plateforme GAMA, celle-ci a été modifiée pour fonctionner avec la base de données. Désormais les seuls paramètres nécessaires à l'exécution d'une simulation sont : l'identifiant dans la table de configuration du tuple qui servira à configurer la simulation, et l'identifiant du lot de simulations auquel cette simulation appartient.

Les interactions de l'outil avec la base sont les suivantes :

- L'application interroge la base pour obtenir tous les paramètres nécessaires.
- L'application initialise un tuple dans la base simulation, partOfSet et les tuples pour les agents
- À intervalles réguliers, l'application insère dans la base tous les états des agents sur tous les pas de temps depuis la dernière insertion.

- Quand la simulation est finie, l'application met à jour le tuple dans la base de données.
- Enfin, l'application précalcule une série de grandeurs statistiques (moyennes, écart-types, ...) qui sont stockées en base afin de gagner du temps au moment de visualiser les résultats.



En plus des modifications, un nouvel outil a été développé pour lire la base et restituer visuellement l'état de la simulation à un temps  $t$ . Il peut être utilisé pour observer en détails une simulation, à la recherche d'un phénomène particulier, d'une erreur, ou pour un besoin de démonstration.

#### **La Base de Données :**

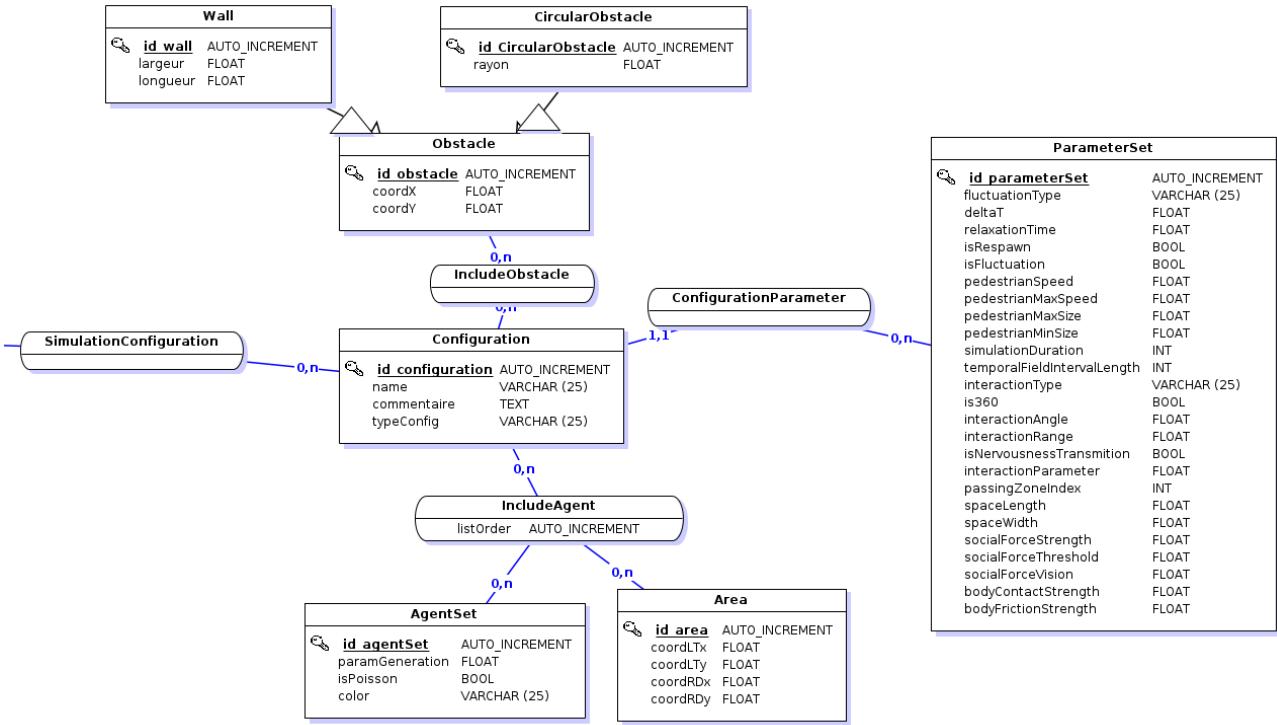
La base de données est une base POSTGRESQL. Elle a été conçue en deux parties : une partie paramétrage, et une partie résultat. Les deux parties sont reliées de manière à permettre de retrouver le paramétrage correspondant à un résultat.

#### **Partie paramétrage :**

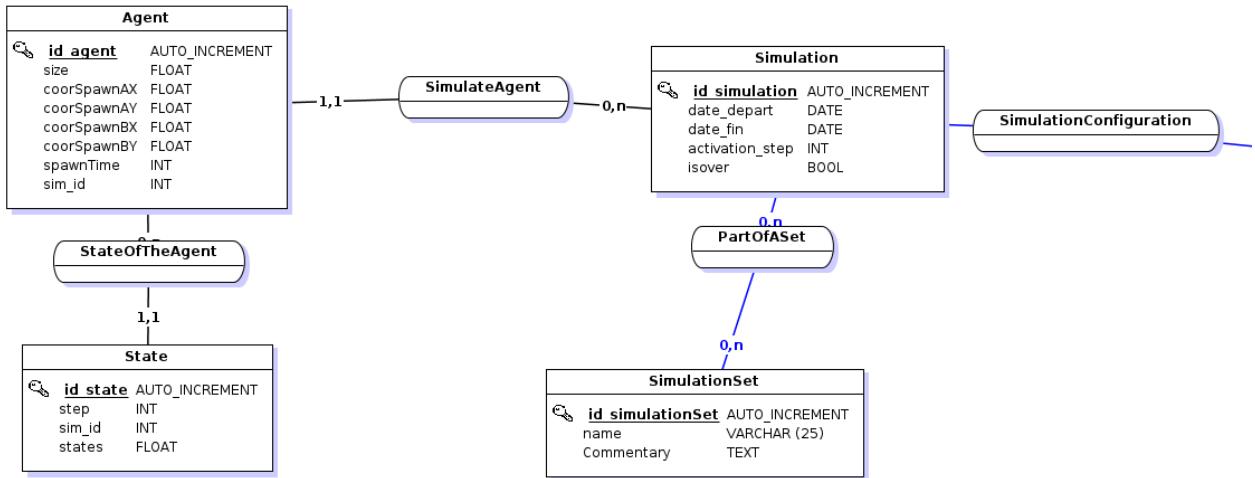
La partie haute du schéma correspond aux murs et obstacles présents dans l'espace simulé.

La partie basse correspond aux groupes d'agents simulés, et aux différentes zones qu'ils vont chercher à atteindre ou éviter.

La table à droite regroupe les paramètres globaux.



## Partie résultats :



## L'interface web :

Le développement web est fait en utilisant Django, le framework web de Python. On utilise Foundation pour le design, et Charts.js pour la générations de graphiques.

La partie pilotage de l'interface web permet de fixer les paramètres d'une série de simulations, et de lancer l'exécution de ces simulations.

Le développement de la partie pilotage de l'interface web n'a pas encore commencé.

La partie information est une suite de pages statiques contenant des détails sur le modèle, un manuel d'utilisation de pilotage, une description de l'outil, et d'éventuel extrait d'articles.

Enfin, la partie restitution reste à finaliser : à l'heure actuelle, il est possible d'accéder aux résultats sous forme de tableaux, de générer des graphiques, et d'avoir les détails des simulations.



### Travaux complémentaires :

Parallèlement aux développements précédents, la réflexion autour du modèle de simulation a progressé : un modèle de propagation à seuils a été envisagé pour poursuivre cette étude qui permet de prendre en compte une diffusion non linéaire des grandeurs émotionnelles intégrées dans le système multi-agent. Dans le modèle initial les nervosités sont transmises dans le voisinage d'un agent dès qu'elles apparaissent aussi faibles soient-elles, tandis que le modèle à seuil ne les transmet qu'à partir d'une certaine valeur fixée arbitrairement au début d'une simulation. C'est un processus connu pour restituer des propriétés de non-linéarité des systèmes.

Les premiers résultats (cf. figure ci-dessous) montrent l'existence possible d'une valeur de seuil critique en dessous de laquelle la nervosité augmente brusquement.

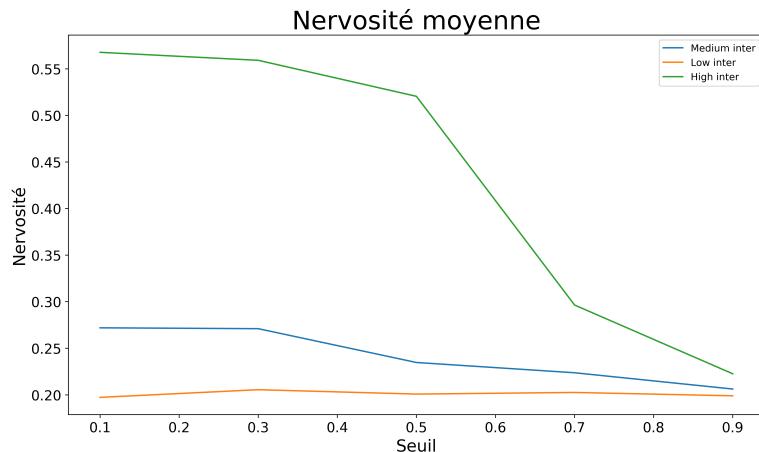


Figure 5 - Evolution de la nervosité dans un modèle à seuil.

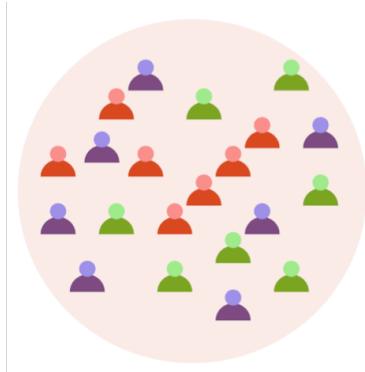
#### WP2.F - Etude de la résilience et de la robustesse des systèmes complexes appliqués à la simulation de marchés financiers.

Le travail de la thèse d'Iris Lucas a été développé en collaboration avec l'ECE, Paris afin de pouvoir simuler des comportements de marchés financiers à partir d'un modèle à échelle micro qui décrit les évolutions des carnets de vente et les comportements individuels des opérateurs boursiers. Un réseau d'acteurs est modélisé, en intégrant leurs stratégies de prises de décisions d'achat et de vente. Dans cette étude on a pu mettre en évidence des phénomènes d'auto-organisation du système global à partir des comportements individuels. Des simulations ont été réalisées en simulant des krach boursiers sur certaines valeurs du carnet de vente ; le comportement émergent global en terme de résistance d'une part et de résilience d'autre part, a été étudié afin de comprendre le rôle de certains paramètres du système. Trois publications en revues scientifiques ont été faites sur ce travail de thèse, dans IJBC et dans la revue CHAOS (voir section 8). La thèse a été soutenue le 18 juillet 2018.

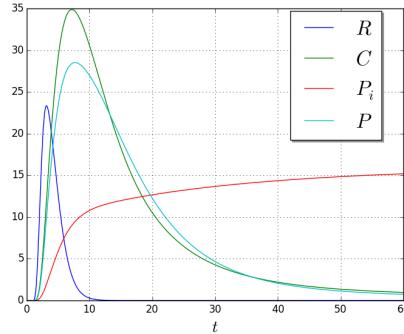
#### WP2.G - Etude mathématique du comportement humain pendant des catastrophes avec simulation d'évacuation sur des réseaux viaires

Dans ce travail à caractère pluridisciplinaire où interviennent des géographes, des psychologues, des mathématiciens et des informaticiens, on s'intéresse à la modélisation du comportement des individus lors d'événements imprévus provenant de catastrophes (Tsunami, attentats, etc.). Ces comportements peuvent être catégoriser en trois grandes classes : des comportements réflexes de type sidération où les individus sont saisis et paralysés par la soudaineté de l'événement, des comportements de panique pouvant provoquer des mouvements collectifs de foule difficiles à contrôler, des comportements de retour à une forme de rationalité. Les sciences humaines et sociales expliquent qu'un facteur important de ces comportements résultent de mécanismes d'imitation et de propagation collective qui ont parfois des ressemblance avec de la propagation épidémiologique. On a élaboré un modèle mathématique original, le modèle PCR (publié dans plusieurs

revues scientifiques depuis 2015) qui décrit les évolutions des effectifs de ces 3 classes de comportement.

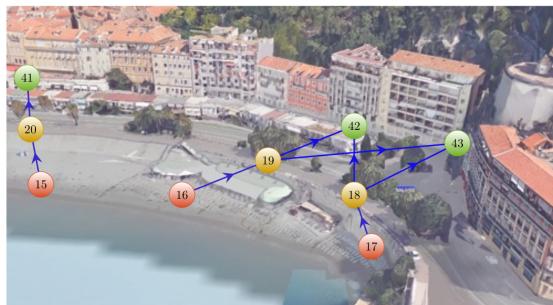


**Figure 7 : population de type PCR (formée de sous-populations de 3 catégories : Paniquée, Contrôlée et Réflexe)**

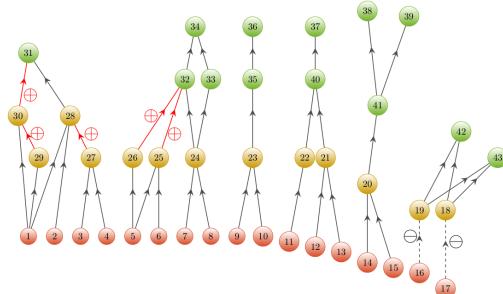


**Figure 6 : Evolution des effectifs des sous-populations dans le modèle PCR**

Dans un deuxième temps, une nouvelle étude a été initiée, consistant à déployer ces phénomènes sur des réseaux, chaque nœud possédant une population locale qui évolue suivant le modèle PCR et étant capable d'interagir avec les autres nœuds auquel il est connecté. Ces interactions correspondent soit à des mouvements de population, notamment lorsque des mécanismes d'évacuation se mettent en place, soit à des informations longues distances capables de faire évoluer les états comportementaux locaux.



**Figure 9 : Construction d'un réseau à partir du bord de plage niçois pour étudier des simulations de comportements en cas de tsunami**



**Figure 8 : Elaboration d'un réseau de sites connectés sur la ville de Nice en caractérisant les modalités d'interaction**

Ce travail fait l'objet de plusieurs publications en revues et conférences (voir section 8)

#### **WP2.H - Problème inverse de propagation d'ondes forcées dans un graphe consistant à identifier la source de ces ondes**

Avec Adel Hamdi, spécialiste de problèmes inverses nous étudions la détection de sources sur un réseau. L'analyse théorique a été faite et une étude numérique sur un exemple simple a montré la faisabilité de l'approche. Un article résumant nos résultats vient d'être accepté par la revue Inverse Problems, une des meilleures du

domaine (voir références en section 8). Un exposé a été fait à WANCSA'2017. Un stagiaire (Hoan Duc Nguyen Mars-Septembre 2017) a été recruté pour améliorer le code numérique et mieux comprendre le champ d'application de notre méthode de détection.

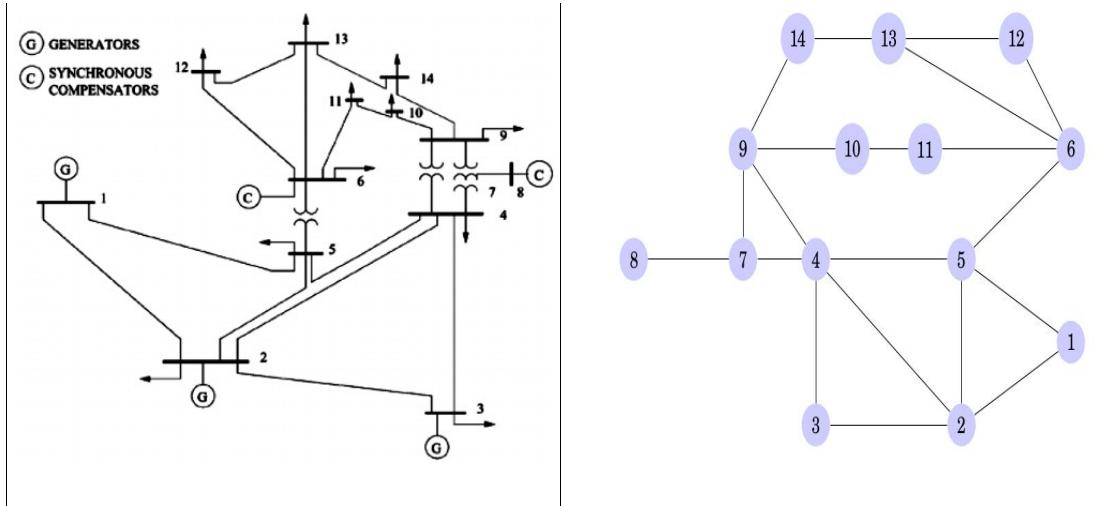


Tableau 1: Réseau électrique modèle IEEE case14 (gauche) et graphe associé (droite)

Stage Samra Youssouf (etudiante GM4) Juin 2019-Aout 2019

"Détection de source sur un réseau" Samra a examiné l'influence des paramètres ( type de signal source, nombre d'échantillons, tolérance ..) et a défini un nouvel algorithme de détection de moindre complexité  $O(n^{(7/2)})$

### **WP3 – Processus d'identification de paramètres dans des réseaux complexes déterministes puis dans des réseaux complexes stochastiques**

Coordinateur : LMRS

Participants : LMI, LMAH, LITIS, LMRS

Planning : 01/03/2017 au 30/09/2019

### **Détection d'un moment de changement de paramètres dans des réseaux stochastiques à structure complexe**

Une première thématique abordée par le LMRS dans le cadre de ce projet a été d'étudier le problème de la détection la plus vite possible d'un moment de changement de paramètres dans des réseaux stochastiques à structure complexe. On a développé des méthodes optimales d'analyse de sensibilité des paramètres au sens minimax et au sens de la minimisation du délai de détection. Une autre thématique a été celle du développement des méthodes statistiques efficaces (au sens de l'inégalité d'oracle pointue non-asymptotique), robustes et adaptatives pour le problème d'estimation des paramètres fonctionnels des systèmes stochastiques. Nous nous sommes aussi intéressés à la modélisation multi-états pour l'analyse de la sensibilité de la performance d'un système complexe à l'aide des processus stochastiques, avec une attention d'une part à la construction des modèles et d'autre part à l'estimation des paramètres. Un système qui a un nombre fini de niveaux de performance peut être modélisé par ce que l'on appelle un

modèle multi-états. Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à un système multi-états décrit par un processus semi-markovien. Nous avons obtenu des estimateurs pour les paramètres du système et aussi pour les caractéristiques de sensibilité.

Ces travaux ont donné lieu à un article en révision pour *Statistical Inference for Stochastic Processes*, un article soumis pour *Stochastic Processes and their Applications* et un autre article en phase finale de rédaction.

Pour la période allant du 1er mars au 31 août 2017 nous avons continué à travailler sur des problèmes de détection la plus rapide des ruptures dans des systèmes stochastiques à structure complexe avec des paramètres inconnus. En utilisant des méthodes séquentielles on a développé des algorithmes de détection de rupture qui minimisent le délai à condition d'avoir de petites et fixes probabilités de fausses alarmes sur chaque intervalle d'observation borné. Ensuite, par des méthodes de sélection de modèle nous avons étudié le problème d'estimation des signaux dans des systèmes stochastiques de télécommunication observés avec des bruits impulsifs à paramètres spectraux inconnus. On a obtenu des algorithmes robustes et efficaces de traitement des signaux dans de tels systèmes quand les signaux continus ne sont observés qu'en temps discrets fixés. On a trouvé des conditions sur la fréquence d'observations qui fournissent la propriété d'efficacité robuste et adaptative pour les algorithmes proposés d'estimation des signaux.

Pour la période de 1<sup>er</sup> septembre 2017 au 31 janvier 2018, nous avons travaillé sur les problèmes d'estimation et détection des signaux dans les systèmes complexe décrits par des équations différentielles stochastique et équation stochastiques aux différences avec les propriétés spectrales et probabilistes inconnues. Pour les problèmes de détection nous avons développé la méthode de détection des signaux la plus rapide dans des systèmes stochastiques basés sur l'approche de l'analyse séquentielle qui nous permet de minimiser le temps de délai de détection. Ensuite, en collaboration avec l'équipe de statistique de l'université d'État de Tomsk nous avons développé une nouvelle méthode améliorée de sélection de modèle d'estimation des signaux non paramétrique qui nous permet améliorer considérablement la qualité d'estimation des signaux observés avec des bruit impulsifs.

Pour la période de 31 janvier au 31 août 2018 nous avons continué à développer des méthodes statistiques adaptatives de traitement des signaux dans les systèmes stochastiques dynamiques décrits par des modèles autorégressives non paramétriques. Pour ces problèmes sur la base de procédures statistiques séquentielles nous avons synthétisé des algorithmes robustes de sélection de modèles. Puis par les méthodes non asymptotiques d'inégalité d'oracle pointues, nous avons analysé leurs propriétés de stabilité par rapport aux bruits stochastiques dans des systèmes considérés. Ensuite, en collaboration avec l'équipe d'informatique spatiale à l'institut de physique et de technologie de Moscou, nous avons développé les nouvelles procédures optimales séquentielles de détection de ruptures dans des

systèmes complexes décrits par des équations stochastiques aux différences avec les distributions inconnues après des ruptures.

Pour la période de 1 juillet au 31 décembre 2018 sur la base de la méthode du CUSUM nous avons développé des nouvelles procédures séquentielles de détection des moments de changement de paramètres dans des systèmes stochastiques en temps discret lorsque les distributions d'observations sont inconnues après les ruptures. On a montré que les procédures proposées sont optimales au sens du critère robuste de la minimisation du délai moyen avec les probabilités de fausses alarmes fixées. Le critère robuste est défini comme le délai moyen maximal sur toutes les distributions d'observations possibles. De plus, on a étudié un problème statistique non paramétrique de tomographie. Pour ce problème, on a construit des procédures de sélection de modèles d'estimation des images non paramétriques dans le cadre de la régression de tomographie quand on observe des images à travers des transformations de Radon avec des bruits aléatoires. On a montré dans ce cadre que les procédures proposées sont optimales au sens des inégalités d'oracle pointues et non asymptotiques.

Pendant la période allant du 1er janvier au 30 septembre 2019, nous avons travaillé dans deux directions : la détection de rupture et l'estimation des signaux dans des systèmes complexes stochastiques décrits par des équations différentielles stochastiques et équations stochastiques aux différences. Dans la première direction, en utilisant l'approche de Roberts et Shiryaev nous avons développé de nouvelles méthodes séquentielles optimales de détection des ruptures dans des systèmes stochastiques complexes décrits par des équations stochastiques aux différences avec des paramètres inconnus. Nous avons montré que les procédures séquentielles proposées détectent le plus rapidement possible les ruptures parmi toutes les procédures de détection possibles sans estimer les paramètres inconnus des systèmes. De plus, nous avons confirmé la validité des résultats théoriques obtenus par des simulations numériques. Dans la deuxième direction, nous avons développé de nouvelles méthodes améliorées de traitement statistiques efficaces et robuste des signaux dans les systèmes complexes de télécommunication et de navigation observés sous un bruit impulsé à distribution inconnue. Nous avons comparé les méthodes proposées avec les estimateurs des moindres carrés. Il se trouve que les méthodes proposées sont considérablement meilleures au sens de la précision non asymptotique d'estimation des signaux que les estimateurs des moindres carrés habituellement utilisés pour ces problèmes. De plus, sur la base de la méthode séquentielle de Arkoun et Pergamenchtchikov (2016) nous avons développé nouveaux procédures de sélection de modèle pour des problèmes d'identification non paramétriques des systèmes stochastiques décrits par des processus auto-régressifs. Nous avons montré que la procédure proposée est efficace et robuste au sens adaptatif.

**Développement d'une collaboration entre l'action 1 et l'action 3, en complément des 3 WP précédents : Développement du simulateur City Wizard**

**Période de développement : Août 2018 à Septembre 2019**

Le recrutement de Paul Salze comme ingénieur de recherche en Août 2018, a permis de réaliser un travail de développement du simulateur City Wizard qui consiste à générer des réseaux complexes que sont les réseaux urbains afin de pourvoir élaborer des modèles de mobilités urbaines, utiles pour l'action 3 dans le cadre des travaux sur l'écomobilité. Ce travail est présenté dans la section correspondante à l'action 3.

## [6.3 Action 2. Modélisation des usages des territoires et des mobilités induites](#)

---

### [6.3.1 Descriptif](#)

#### **Coordonnateurs :**

Françoise Lucchini (IDEES) et Ludovic Seifert (CETAPS)

#### **Objectif :**

L'objectif est de montrer que la modélisation de la mobilité d'un individu et/ou d'un agrégat d'individus contribue à révéler des processus d'émergence et d'auto-organisation, sous tendant tout à la fois des comportements routiniers mais également d'autres inattendus selon que l'environnement présente des régularités spatiales et temporelles, ou au contraire que des évènements ponctuels viennent perturber la mobilité des individus.

**Mot-clés :** Systèmes complexes, espaces d'actions encouragées, ville, pulsations urbaines, mobilités, évènements, émergence, chronotopes, téléphonie mobile, réseaux sociaux, coordination, perception-action

### [6.3.2 Participants et ressources humaines](#)

#### **Laboratoires :**

- CETAPS, Université de Rouen
- IDEES, Université de Rouen
- LITIS, Insa Rouen Normandie et Université Le Havre
- LMRS, Université de Rouen

#### **Personnels permanents :**

- D. Adé (CETAPS), université de Rouen Normandie
- J. Baudry (LITIS), université Le Havre Normandie
- C. Bertelle (LITIS), université Le Havre Normandie
- R. Charrier (LITIS), université Le Havre Normandie
- D. Chollet (CETAPS), université de Rouen Normandie
- C. Colange (IDEES), université de Rouen Normandie
- A. Couillet (IDEES), université de Rouen Normandie
- B. Elissalde (IDEES), université de Rouen Normandie
- S. Freire-Diaz (IDEES), université de Rouen Normandie
- R. Hérault (LITIS), Insa Rouen Normandie
- J. Komar (CETAPS), université de Rouen Normandie
- M. L'Hermette (CETAPS), université de Rouen Normandie
- D. Leroy (CETAPS), université de Rouen Normandie
- F. Lucchini (IDEES), université de Rouen Normandie
- S. Rey (IDEES), université de Rouen Normandie
- L. Seifert (CETAPS), université de Rouen Normandie
- R. Thouvarecq (CETAPS), université de Rouen Normandie
- N. Vergne (LMRS), université de Rouen Normandie

#### **Collaborateurs extérieurs :**

- Marco Bonifazi (CONI, Université de Rome, Italie)

- Chris Button (Professeur invité à l'université de Rouen, Université d'Otago, New Zealand),
- Jia Yi Chow (Professeur invité à l'université de Rouen, Université de Nanyang, Singapour),
- James Croft (Professeur invité à l'université de Rouen, Université Edith Cowan à Perth, Australie),
- Keith Davids (Université de Sheffield Hallam, UK),
- Matt Dicks (Professeur invité à l'université de Rouen, Université de Portsmouth, UK)
- Ricardo Fernandes (Université de Porto, Portugal).
- Lény Grassot (PostDoc, université de Lyon, UMR CNRS LAET)
- Denis Hauw (ISSUL, Université de Lausanne, Suisse),
- Bruno Mantel (CESAMS, Université Caen Normandie),
- Annie Rouard (Université de Savoie),
- Dario Dalla Vedova (CONI, Université de Rome, Italie),
- Joao Paulo Vilas-Boas (Université de Porto, Portugal) ,

***Doctorants / Post-doc / IGE et IGR:***

- S. Gasnier (IGE, IDEES)
- Olivier Gillet (IGE, IDEES).
- Lény Grassot (doctorant, IDEES-Rouen, financement FEDER RISC/XterM)
- Brice Guignard (CETAPS, doctorant, contrat doctoral MESR),
- Florian Mell (CETAPS, docotorant),
- Nadège Rochat (CETAPS, doctorante bourse CIFRE, puis postdoc, financement FEDER RISC/XterM, 1 an),
- David Simbana (CETAPS, doctorant, bourse CIFRE),
- Adam Schmit (CETAPS, post-doc Région),
- Maroua Hammami (CETAPS, postdoc, financement FEDER RISC/XterM, 1 an)
- Héloïse Baillet (CETAPS, postdoc, financement FEDER RISC/XterM, 7 mois)

***6.3.2 Restitution des études menées***

**Concordance entre objectif annoncé et mené :**

**WP1 – Reconnaissance et modélisation de comportements**

La période 2015-2017 est dédiée au WP1 : dans cette recherche mobilisant les concepts issus du paradigme des systèmes complexes le WP1 est consacré à la « Reconnaissance et à la modélisation de comportements », pour lequel deux sous-actions ont été réalisées : (a) Modélisation des habiletés perceptivo-motrices en situation contraignante (CETAPS); (b) Extraction, stockage et mise en forme pour un traitement statistique des données de crowdsourcing (IDEES). Pour IDEES (b), il s'agit de l'extraction, de la collecte, du stockage et de la mise en forme des données de téléphonie mobile (4 jeux de données obtenues par convention avec l'opérateur Orange) et des données du réseau social Twitter (3 années d'enregistrement, 2015 à 2017, en respectant la protection des données personnelles par le caractère éthique des enregistrements et du traitement des données ; la sonde de captage est conçue par le LITIS Havre). Les données sont

disponibles sur un serveur interrogable à distance réalisé par le LITIS. Les travaux des membres du laboratoire LITIS (Havre) et d'IDEES (Rouen) ont permis la mise en place d'une chaîne de traitements allant de l'acquisition des données du réseau social à la mise en forme de celles-ci pour visualiser les mobilités.

#### WP2 – Dynamiques comportementales en situations routinières et perturbées

La période 2016-2018 est centrée sur les travaux du WP2 à propos de l'analyse des « Dynamiques comportementales en situations routinières et perturbées ». Deux sous-actions sont développées : a) Effet d'une perturbation sur l'organisation spatio-temporelle de la mobilité (CETAPS) ; b) Développement et à la portabilité d'une plateforme de simulation des mobilités dans un espace urbain (IDEES).

Pour le CETAPS (a), le WP2 consiste à analyser l'effet d'une perturbation sur l'organisation spatio-temporelle de la mobilité.

Pour l'UMR IDEES (b), le WP2 vise au développement et à la portabilité d'une plateforme de simulation des mobilités dans un espace urbain. Préalablement au développement d'une plateforme, une analyse a été conduite sur i) les comportements des usagers qui se déploient dans un environnement urbain, présentant des contraintes de mobilité et pouvant conditionner des choix potentiels d'usagers, de mobilité et d'immobilité ; et sur ii) le déroulement d'une grande manifestation populaire ou d'un événement majeur dans cet espace urbain, entraînant des perturbations de cet ordonnancement routinier des mobilités. En raison des objectifs conséquents du WP2, à savoir l'analyse des données et la modélisation des dynamiques comportementales, nous avions envisagé le recrutement d'un ingénieur d'études (Olivier Gillet, mars 2017 à avril 2019) et l'obtention d'une allocation doctorale (non obtenue). Une partie des actions programmées dans ce WP (modélisation sous environnement GAMA notamment), n'ont pas pu être réalisées. En revanche, le travail de l'ingénieur d'études a été centré sur le développement d'outils et méthodes pour l'analyse de la dynamique comportementale et des mobilités en situations routinière et perturbée. Une chaîne de traitements géomatiques et géostatistiques (clustering, GIS, Data analysis, Graph theory) a été développée afin d'analyser les mobilités selon des indicateurs issus de la théorie des graphes. De premières avancées concernant à la fois le WP2 et le WP 3, dédié à « Modéliser les mobilités », sont réalisées dès 2017 et poursuivies en 2018, avec l'élaboration d'une application sous environnement R visualisant les mobilités urbaines de manière dynamique et interactive ainsi que leurs variations spatiotemporelles à la journée, à la semaine et au mois (IDEES).

#### WP3 – Modéliser les mobilités

La période 2017-2019 est consacrée à la réalisation du WP3 « Modéliser les mobilités », avec le développement de 2 sous-actions: a) Analyse de la dynamique comportementale (CETAPS) ; b) Solutions de visualisations statiques, dynamiques et interactives pour les variations des concentrations spatiotemporelles (IDEES).

Pour l'UMR IDEES (b), le WP3 se centre sur la visualisation et sur la simulation des mobilités d'individus circulant dans un environnement urbain. Le premier objectif consiste à réaliser des solutions de visualisations statiques, dynamiques et interactives pour les variations des concentrations spatiotemporelles des usagers dans une ville en fonction de leurs mobilités. Un autre objectif du WP3 consiste à

simuler les mobilités d'usagers circulant dans un environnement urbain. Deux avancées majeures en visualisation et en simulation sont réalisées en 2017 et 2018. Ces avancées correspondent à, d'un côté, l'élaboration de deux applications dynamiques et interactives de visualisation (Application 1 et Application 2) et, de l'autre côté, à l'élaboration d'une application dynamique de simulation (Application 3) des mobilités; ces trois applications sont hébergées par la TGIR Huma-Num. L'« Application 1 » permet une visualisation dynamique et interactive des données géolocalisées du réseau social Twitter transformées en graphes de mobilité ([https://analytics.huma-num.fr/Olivier.Gillet/XTERM\\_TCA\\_SOCIAL\\_NETWORK/](https://analytics.huma-num.fr/Olivier.Gillet/XTERM_TCA_SOCIAL_NETWORK/)). L'« Application 2 » compare les graphes de mobilités urbaines (quotidiennes, hebdomadaires et mensuelles) d'un pas de temps à l'autre et identifie les variations des concentrations spatiotemporelles ([https://analytics.huma-num.fr/Olivier.Gillet/XTERM\\_TVGN\\_SOCIAL\\_NETWORK/](https://analytics.huma-num.fr/Olivier.Gillet/XTERM_TVGN_SOCIAL_NETWORK/)). Un nouvel indicateur de similarité (spatiale et hiérarchique) a été élaboré pour comparer la distribution et la configuration des graphes de mobilité sur l'espace urbain, au-delà des indices globaux de la théorie des graphes. L' « Application3 » permet de simuler des graphes de mobilité à partir d'une situation donnée (ex : reproduire le graphe des mobilités des usagers pour une semaine donnée) et d'anticiper l'augmentation de l'attractivité d'un point précis de l'espace urbain (ex : doubler la fréquentation attendue pour un festival donné). Cette «Application 3» a été développée en 2018-2019. ([https://analytics.huma-num.fr/UMR\\_IDEES/XTERM\\_SIMULATION\\_SOCIAL\\_NETWORK/](https://analytics.huma-num.fr/UMR_IDEES/XTERM_SIMULATION_SOCIAL_NETWORK/)). Nous avons aussi commencé en 2019 le développement d'une « Application 4 » pour visualiser les graphes de déplacements des usagers de la téléphonie mobile circulant dans un espace urbain.

#### Présentation détaillée des actions développées dans l'action 2 Modélisation des usages des territoires et des mobilités induites

**Dans le détail des actions développées par le CETAPS,** la modélisation du comportement sensori-moteur en situations contraintes en environnements sportifs (WP1), consiste à identifier des états stables et routiniers en modélisant le *couplage articulaire des membres* (calcul du rapport de fréquence propre entre les membres, calculs de phase relative et de vector coding, calcul d'index temporel de coordination) pour analyser la synchronie vs. syncopie des actions. Afin de bien embrasser ce travail de modélisation, notre travail a inclus trois activités physiques et sportives cycliques où les membres agissent comme des oscillateurs modélisables: la natation, le patinage en hockey sur glace, le trail-running. A ce jour, nous avons atteint à 100% les objectifs annoncés ; le travail est finalisé en natation et en cours de finalisation en hockey sur glace et en trail-running. Dans ces mêmes activités, le WP2 visait ensuite à perturber le comportement routinier par une perturbation plus ou moins longue et plus ou moins inattendue. Le WP3 visait à modéliser la dynamique de ces comportements pour identifier différents profils d'individus afin de mieux concevoir des espaces d'actions encouragées, c'est à dire des espaces où un certain type de mobilité serait favorisé et où d'autres seraient proscrits.

En *natation*, la première contrainte environnementale manipulée était la stabilité du flux d'eau. Nous avons testé plusieurs conditions : les individus nagent dans une piscine (flux d'eau stable) et dans un bassin à contre courant (flux d'eau instable) à 8 vitesses de déplacement différentes. Nous avons évalué le couplage articulaire entre la main et l'avant bras et entre l'avant bras et le bras (Figure 1) à partir des calculs de phase relative et de vector coding (Figure 2) (Chang et al., 2008; Needham et al., 2014).

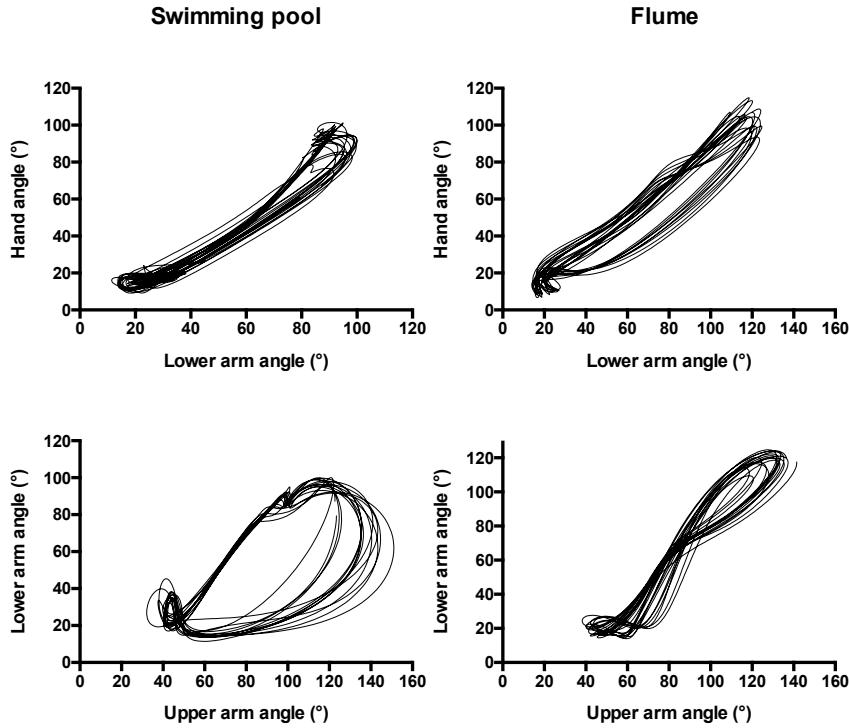


Figure 1. Couplage articulaire entre la main et l'avant bras et entre l'avant bras et le bras

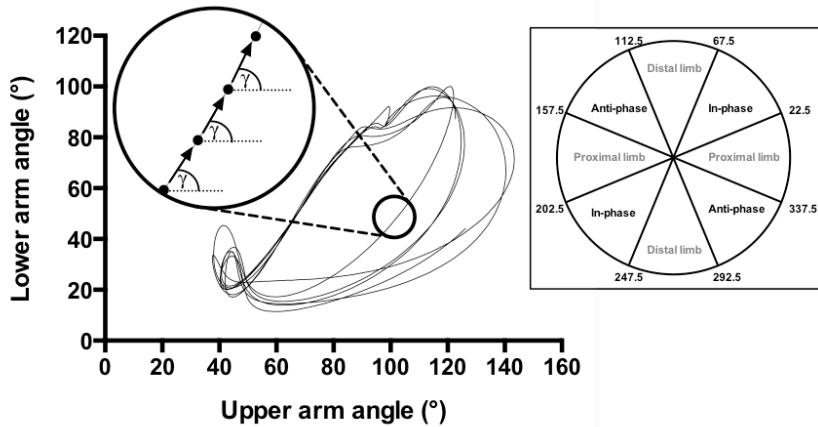


Figure 2. Vector coding permettant d'interpréter la nature du couplage articulaire

Cela a permis de montrer que lorsque le crawlleur nage à contre courant, sa mobilité est modifiée dans le sens d'une réduction du temps de glisse de la main (Figure 3), d'une augmentation de la fréquence gestuelle (Figure 3) et d'un couplage articulaire davantage en in-phase (i.e. synchronisation). Ce travail a été fait en collaboration avec la Fédération Italienne de Natation, le Comité Olympique National Italien, les

universités de Rome et de Savoie et l'entreprise Hikob ([www.hikob.com](http://www.hikob.com)) à Villeurbanne Villeurbanne ; il constitue le travail de thèse de Brice Guignard qui a soutenu sa thèse le 17/11/2017.

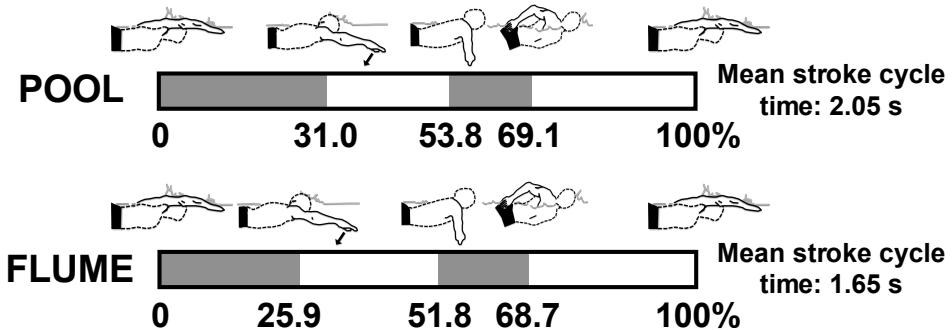


Figure 3. Répartition des phases (glisse, traction, poussée, retour) d'un cycle de nage en fonction de l'environnement.

La deuxième façon de contraindre la mobilité en natation est l'imposition de 7 paliers de fréquences gestuelles à l'aide d'un métronome auditif afin d'entraîner l'adaptation des nageurs de haut niveau aux résistances à l'avancement du milieu aquatique (Figure 4). La méthode utilisée pour analyser le couplage articulaire entre le bras droit et gauche est basée sur l'utilisation de centrale inertielle attachée aux poignets et au bassin afin de détecter les points clés des phases de nage, puis un index de coordination entre les bras. Ce travail a été fait en partenariat avec la Fédération Française de Natation et le pôle France de l'INSEP et constitue la thèse de David Simbana qui a été soutenue le 19/02/2018.

Dans le WP2, l'application d'une perturbation consistait à imposer une double tâche : nager le plus vite possible avec la fréquence maximale (SR M) la plus grande possible. Cette double tâche était contrastée avec un essai à vitesse maximale nagée à fréquence préférentielle (SR P). Il était ensuite comparé l'écart de performance (vitesse de nage) entre l'essai à fréquence préférentielle et celui à fréquence maximale pour évaluer l'étendue du répertoire moteur de l'individu. L'hypothèse testée était qu'un individu avec un grand répertoire peut plus facilement s'adapter à la contrainte et donc nager vite quelle que soit la fréquence gestuelle utilisée. Ce travail représentait la seconde partie de la thèse de David Simbana, et est finalisée à 100%. La Figure 4 indique que les nageurs experts ont une fréquence maximale et préférentielle supérieure aux nageurs non-experts. De plus, les experts ont la capacité à augmenter leur vitesse lorsqu'ils augmentent leur fréquence gestuelle, tandis que les non-experts ne tireraient pas d'avantage à nager avec une plus grande fréquence gestuelle.

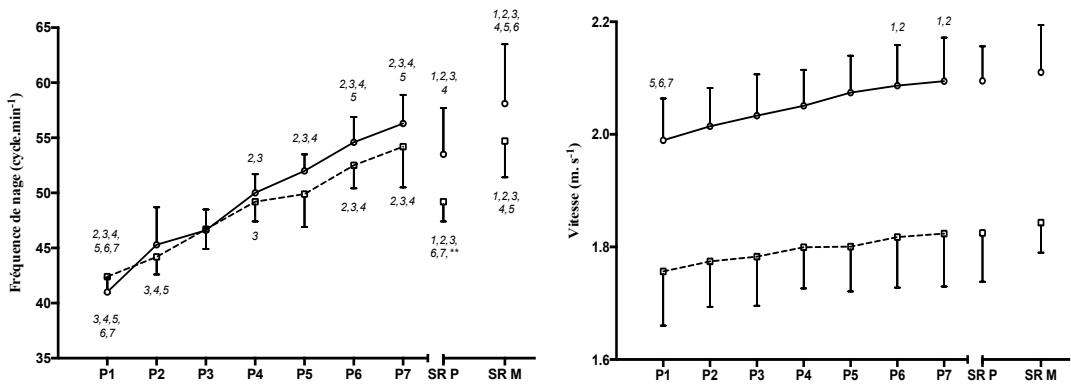


Figure 4. Augmentation de la fréquence gestuelle (à gauche) et de la vitesse de nage (à droite) lors des 7 paliers incrémentés (P1 à P7) en fréquence, et ceux nagés à fréquence préférentielle (SR P) et maximale (SR M).

Le WP3 visait à modéliser la dynamique comportementale ; la mobilité des nageurs a été modélisée à travers la fréquence gestuelle et la coordination motrice (couplage des actions propulsives des bras en crawl) en fonction de la vitesse de nage (Figure 5). La Figure 6 présente les modélisations (régressions quadratiques) individuelles de la fréquence gestuelle et de la coordination motrice en fonction de la vitesse.

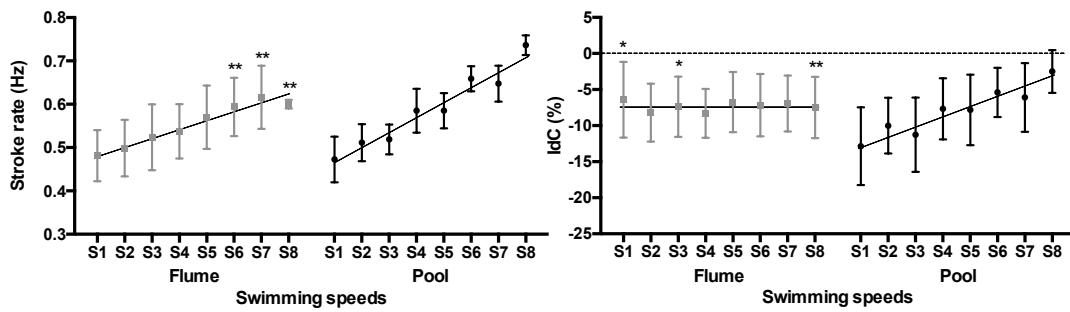


Figure 5. Dynamique de la fréquence gestuelle (en Hz) (à gauche) et de la coordination motrice (IdC en %) (à droite) en fonction de la vitesse de nage pour la moyenne de l'échantillon dans le flume (en gris) et dans la piscine (en noir).

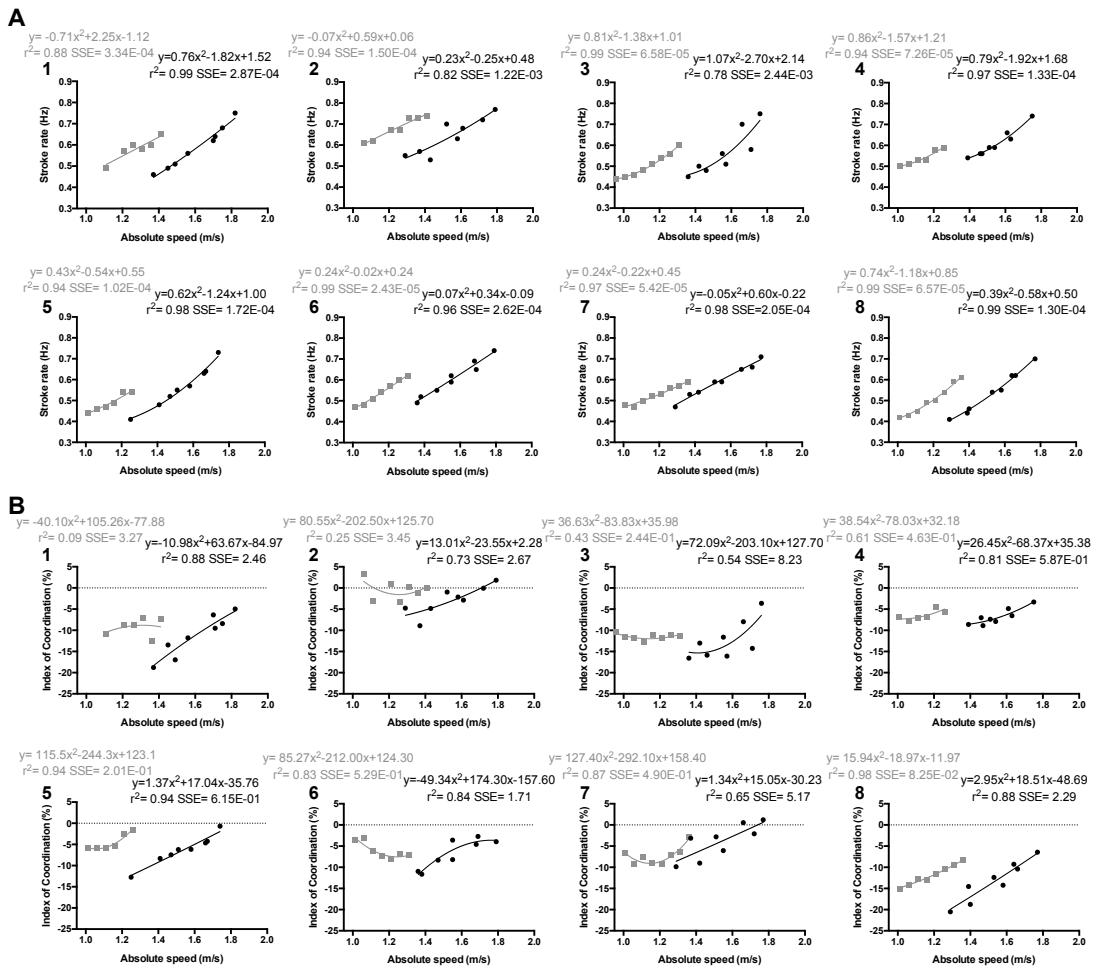


Figure 6: Régression quadratique caractérisant la dynamique de la fréquence gestuelle (en Hz) (A) et la coordination motrice (IdC en %) (B) en fonction de la vitesse de nage pour 8 nageurs dans le flume (en gris) et dans la piscine (en noir).

En *hockey sur glace*, une étude pilote a été conduite auprès de entraîneurs nationaux de la Fédération Française de Hockey sur Glace (FFHG), l'INSEP et des coachs des équipes professionnelles de Caen, Rouen et Amiens pour mettre en place un protocole d'analyse des habiletés perceptivo-motrices, révélateur des contraintes environnementales vécues en match. Ce travail a servi de base à la collecte de données pour 20 joueurs professionnels et 20 joueurs juniors pour lesquels nous avons analysé le couplage articulaire lors de 4 situations: le patinage des hockeyeurs a été contraint en imposant des trajectoires variées avec l'aide ou pas de la crosse et la contrainte ou pas de conduire un palet, et la possibilité d'un départ en course ou arrêté. L'analyse des données est finalisée et montre que la crosse a un effet équilibrante dans le patinage, modifiant ainsi la coordination des membres inférieurs lors du patinage et en particulier l'asymétrie de cette coordination.

Dans le WP2, nous avons particulièrement focalisé l'analyse sur l'ajout d'un palet distribué de façon aléatoire par un « lance palet ». L'ajout du palet amplifie les modifications de coordination et de performance (vitesse de déplacement), suggérant que cette contrainte perturbe grandement et mériterait une plus grande attention lors de l'apprentissage du patinage. Ce travail constitue la thèse de Florian Mell a été soutenue le 20/10/2017.

Dans le WP3, nous avons modélisé le rapport en stabilité / flexibilité de la mobilité en fonction des contraintes de patinage, et mis en avant différents profils (par des analyses de classification) d'efficience de patinage (évaluée par le jerk). Ces travaux ont été soumis pour publication.

En *trail-running*, la mobilité a été contrainte par l'utilisation de matériel d'hydratation (porte gourde et sac à dos avec une poche à eau) afin d'étudier l'effet du poids et du ballottement du matériel sur les habiletés perceptivo-motrices (amplitude des accélérations verticales du bassin et du sac) et l'expérience subjective (collectée sur la base d'entretien d'auto-confrontation). Nous avons réalisé la collecte de données pour 16 participants d'ultra-trail dans 5 conditions expérimentales (Figure 7).



Figure 7. Différentes systèmes d'hydratation testés sur la mobilité des coureurs: C1 : sac avec poche à eau, C2: porte gourde au bassin, C3 : porte gourde pectoral rempli d'eau, C4 : porte gourde pectoral à moitié rempli d'eau, C5 : sac avec flasques.

Le WP1 a permis d'identifier les paramètres cinématiques à prendre en compte pour analyser la mobilité du coureur dans son interaction avec le sac d'hydratation : en l'occurrence 4 centrales inertielles Hikob Fox3 ([www.hikob.com](http://www.hikob.com)) ont été placées au bassin sur les deux bretelles des sacs de portage et dans le fond du sac pour analyser le couplage entre les accélérations verticales du coureur et du sac (Figure 8).



Figure 8. Positionnement des centrales inertielles

Ce travail a été finalisé et indique que les conditions de portage avec les gourdes au niveau pectoral et la poche à eau amènent des accélérations verticales plus importantes que dans les autres conditions. Par ailleurs ces accélérations verticales semblent être désynchronisées et perçues comme gênantes par les coureurs qui témoignent de ballotements. La Figure 9 illustre que lorsque les gourdes sont placées sur les bretelles, leur ballottement amène des accélérations verticales qui sont en décalage avec le bassin du coureur et elles sont perçues comme gênantes. Ce travail s'est fait en collaboration avec l'entreprise Raidlight et l'ISSUL (Université de Lausanne) et constitue le travail de thèse de Nadège Rochat qui a été soutenu le 20/11/2017.

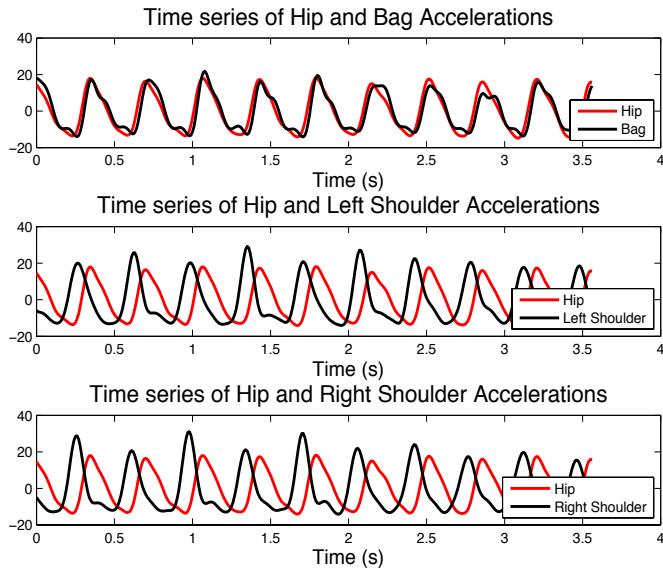


Figure 9. Illustration des accélérations du bassin/ fond de sac, bassin/bretelle gauche du sac, bassin/bretelle droit du sac pour la condition de portage où les gourdes sont placées au niveau pectoral.

Dans le WP2, nous avons confronté les coureurs à un parcours en deux sections : une section de plat sur un chemin large et une section accidentée (descente et montée raide sur une petit chemin). Les résultats montrent un meilleur couplage des accélérations verticales du sac et du coureur lors de la section accidentée suggérant que les coureurs se focalisent davantage sur le relief au point que le sac devient « transparent ». A l'inverse la section de plat peu sollicitante et permettant au coureur d'utiliser plus facilement sa course naturelle a montré que le sac était gênant, ce qui s'est traduit par un manque de synchronisation entre les accélérations verticales du sac et le bassin du coureur.

Dans le WP3, la dynamique comportementale (couplage coureur-sac) a été croisée avec la dynamique expériencielle (le flux des préoccupations du coureur). La figure 10 illustre le flux des préoccupations positives (en vert), neutres (en bleu) et négatives (en rouge) pour l'ensemble des coureurs au fur à mesure du parcours pour chaque condition de système d'hydratation. La modélisation de la dynamique expriencielle indique que les conditions 1 et 3 sont perçues comme désagréables et négatives dès le début de la course car amenant beaucoup de ballotement du sac à dos (Figure 10); ce qui est confirmé par les données comportementales (Figure 11). En effet, la figure 11 indique que la condition 3 amène un décalage entre les accélérations du coureur et des bretelles, sans doute car les gourdes sont fixées au niveau pectoral. A l'inverse, la condition 2 correspondant à un gilet où les gourdes sont fixées au niveau du bassin amène un couplage en phase entre les accélérations du coureur et du sac (Figure 10); ce qui est vécu comme confortable (Figure 11).

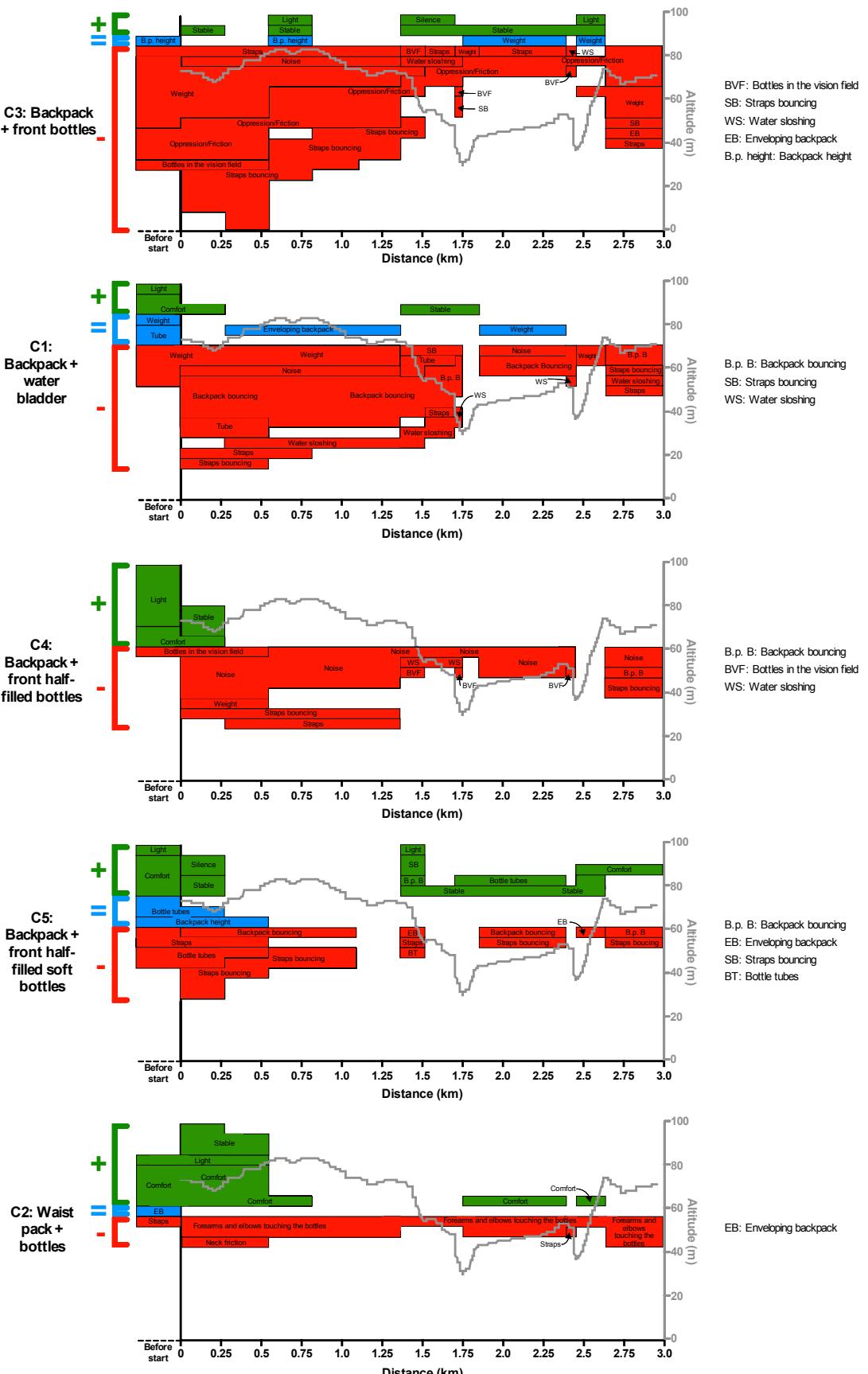


Figure 10. Dynamique expérimentale : Flux des préoccupations positives (en vert), neutres (en bleu) et négatives (en rouge) au fur à mesure du parcours (dénivelé en gris).

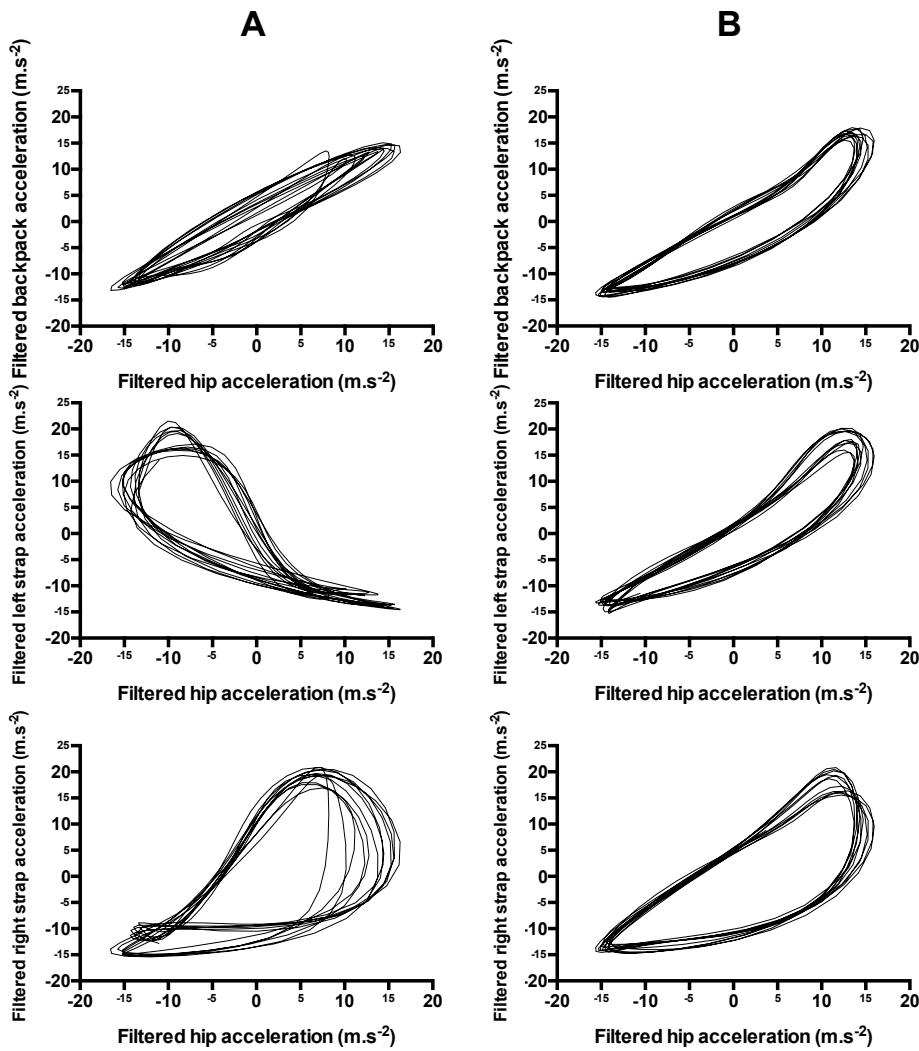


Figure 11. Couplage entre les accélérations verticales de la hanche et du sac (en haut), entre la hanche et la bretelle gauche (au milieu) entre la hanche et la bretelle droite pour C3 (cas A) et pour C2 (cas B).

Puis ces préoccupations négatives s'estompent à mi-parcours lorsque le terrain devient plus accidenté et que le coureur focalise sa motricité sur l'adéquation aux variations de dénivelé. Ces travaux sont publiés dans 2 publications réalisées par Nadège Rochat.

A ce jour les WP1 et WP2 sont finalisés puisque toutes les données ont été traitées et les résultats analysés ; les travaux ont été publiés et/ou présentés en congrès et lors d'invitations pour des conférences. Les algorithmes sont disponibles sur l'e-lab : « *e-ecod* » (<http://eecd2014.wix.com/e-ecod>). Le WP3 est également finalisé et publié (acceptées ou soumises pour les dernières études) pour la modélisation de la dynamique comportementale en natation et trail running et hockey sur glace.

**Dans le détail des actions développées par l'UMR IDEES**, nous rappelons que le projet de recherche initial impliquait, en raison des objectifs conséquents du WP2 - à savoir l'analyse des données et la modélisation des dynamiques comportementales - le recrutement d'un ingénieur d'études (Olivier Gillet, mars 2017 à avril 2019) et l'obtention d'une allocation doctorale (non obtenue). Notamment, la modélisation sous environnement GAMA, initialement prévue dans le WP2, n'a pas pu être réalisée. En raison de la résolution spatiale et du volume de données différentes entre les données de téléphonie mobile et celles des réseaux sociaux, le travail de l'ingénieur d'études a été centré sur le développement d'outils et méthodes pour l'analyse de la dynamique comportementale et des mobilités en situations routinière et perturbée. Et sur le plan de la modélisation, nous nous sommes tournés vers un développement de ce volet sous un autre environnement avec un langage de programmation sous R.

**Rappel de la problématique de recherche « Pulsations urbaines et DONNEES NUMERIQUES LIBREMENT PARTAGEES » - IDEES**

Dans le cadre de ce l'on nomme couramment la révolution numérique, les données et donc les traces géolocalisées ou émises par les individus sur les réseaux sociaux et/ou à partir de leur téléphone portable, sont devenues des sources incontournables pour la compréhension du fonctionnement de l'espace géographique. Ces données numériques sont utilisées pour appréhender les rythmes urbains quotidiens ou les comportements spécifiques, lors d'évènements exceptionnels. Inscrite dans les cadres de réflexion sur les systèmes complexes, cette recherche s'appuie sur l'hypothèse que de nouvelles configurations émergent de l'interaction des multiples constituants du système composé par les pratiques urbaines des usagers des réseaux sociaux. Cette recherche défend également l'idée que ces traces géolocalisées peuvent servir de descripteurs de la vie urbaine et que la modélisation de la mobilité d'un individu ou d'un agrégat d'individus contribue à i) révéler des processus d'émergence et d'auto-organisation ; ii) sous-tendre à la fois des comportements routiniers et également des comportements inattendus selon que l'environnement présente des régularités spatiales et temporelles ou que des évènements ponctuels viennent perturber la mobilité des individus.

**AVANCEMENT DU TRAVAIL AU COURS DE LA PERIODE 2015-2016 – PULSATIONS URBAINES ET DONNEES NUMERIQUES LIBREMENT PARTAGEES**

- a. Finalisation du travail de modélisation à partir des données de téléphonie mobile.

Réalisation d'un simulateur embryonnaire, stable et modulable suivant le protocole ODD (Overview, Design concepts et Details) "SiLPE" Simulating Large Planned Events sous environnement GAMA (<https://code.google.com/p/gama-platform/> , en utilisant les informations issues de la telephonie mobile sur 2 métropoles Rouen et Lille animées par des grands évènements tels que l'Armada de Rouen et la Braderie de Lille. L'objectif est de reproduire la réalité du déroulé d'un grand évènement urbain quel que soit le lieu et quel que soit l'évènement. On y décèle les cycles, les

rythmes, la résilience d'un évènement (retour à la normale), les spatialités qui s'animent, le croisement de temporalités, et l'existence d'évènements dans l'événement (figure 1).

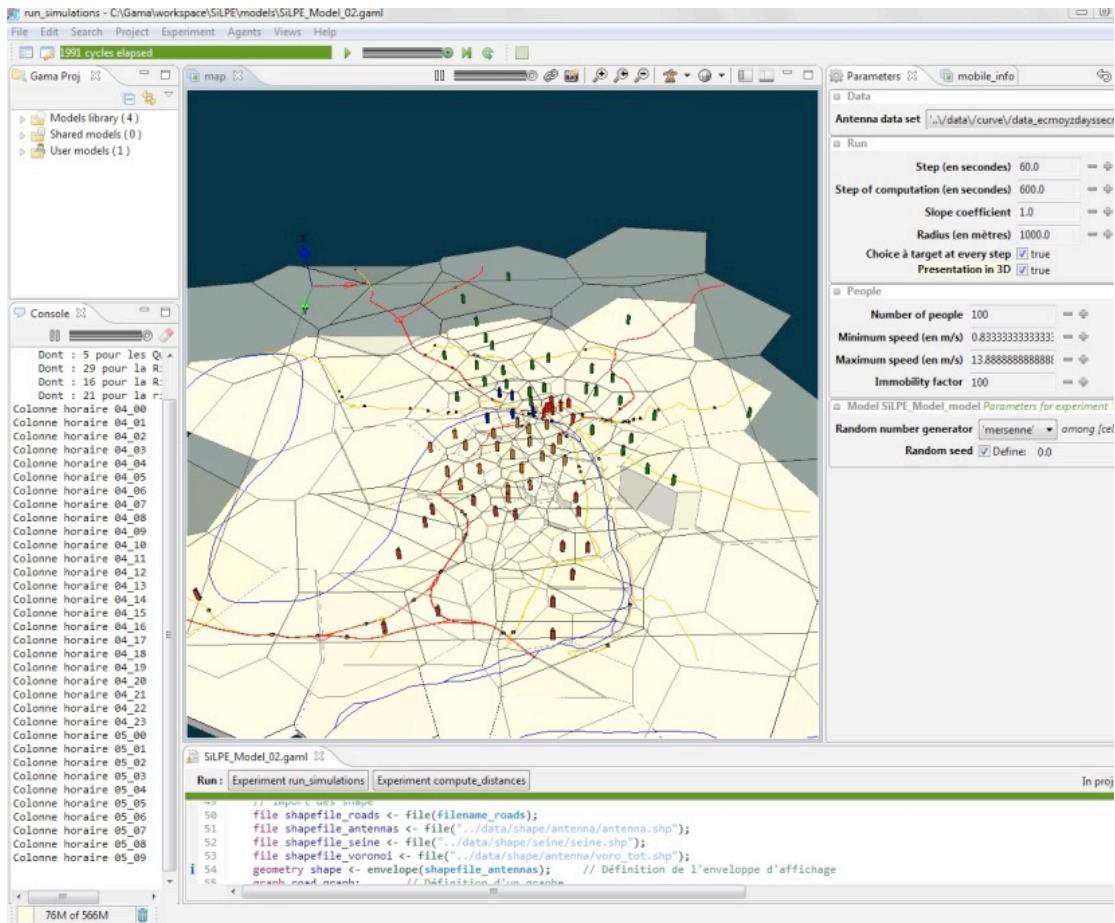


Figure 1. Interface de la Plateforme SiLPE

## b. Exploration des informations issues des réseaux sociaux.

b1. Exploration des APIs des réseaux sociaux et tests réalisés sur les réseaux sociaux Facebook, Tweeter, Flick'r, Foursquare, Instagram, Picasa, Pinteret, Youtube pour sélectionner ceux dont l'API permet l'accès aux informations géolocalisées et dont le volume de messages géolocalisés est important, cette condition étant nécessaire à l'étude des mobilités individuelles et collectives. On constate un doublement du pourcentage d'informations géolocalisées entre 2008 et 2013 dans les réseaux sociaux (entre 30 et 40% en 2013 contre 15 à 20 % en 2008).

b2. Panorama de la littérature sur les études similaires en cours aux USA et en Asie, et de la littérature sur le profilage des utilisateurs des réseaux sociaux, impliquant le choix de la ville capitale française comme espace d'investigation spatial.

b3. Mise en place dès février 2015 d'une sonde automatique de captage journalier des informations du premier réseau social choisi : Twitter, sur le périmètre de la région Ile de France, en raison de son fort volume de géolocalisations.

Actuellement ce captage se compose de deux années (2015 et 2016) d'informations du réseau social twitter. Le captage se poursuit sur l'année 2017.

b4. Exploration des données de tweets et de twittos et premiers traitements sur deux périodes test de l'année 2015 : j50-j117 ; j118-J267 : analyse mensuelle, journalière, et horaire du rythme des échanges sur tweeter ; analyse spatiale des hotspots dans la ville de Paris ; analyse des spécialisations horaires et spatiales ; détection d'« événements »

b5. Travail de visualisation cartographique journalière de l'activité tweeter : représentations ponctuelles et cartes en lissage par maille pour la constitution d'images animées (animation à réaliser à partir du matériau cartographique produit).

b6. Travail sur la notion d'évènement et sur la détection d'un évènement dans la ville :

1. Lieu-événement lié à un évènement du calendrier de manifestations et effet de percolation de cet évènement sur les mailles voisines (Roland Garros ; Parc des Princes ; Salon de l'agriculture, Salon du livre, Paris Game Week) ;
2. Évènement non programmé (indice de surreprésentation) ;
3. Évènement statistique;
4. Détection de clusters (autocorrélation spatiale) ;

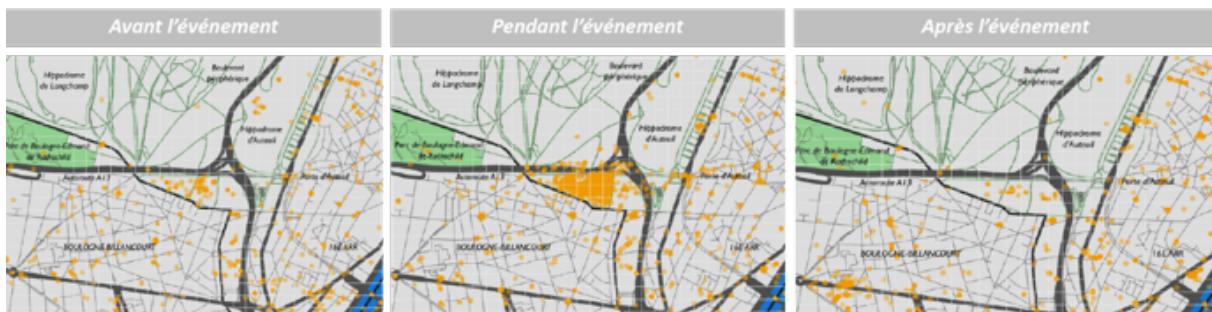


Figure 2. Détection de l'événement Roland Garros 2015

Un travail a débuté sur l'identification des modèles de fonctionnement de catégories d'espaces et de temps dans la ville, avec la caractérisation de la notion d'événement basé sur :

- Les modes d'extension spatiale et modes d'occurrence temporelle d'un évènement
- Le triptyque → singularité, contingence, écart

On s'appuie notamment sur différentes analyses mesurant la variabilité spatiale et temporelle. Par exemple, la variabilité des écart-types dans chaque maille de l'espace parisien nous renseigne sur les mailles qui ont une activité irrégulière de tweets, les mailles qui sont régulières, etc.

A partir des tweets géolocalisés sur l'espace parisien, le tableau synthétique de la figure 6 ouvre sur une lecture synthétique mais complexe des évènements en croisant des portions d'espaces et des pas de temps. D'un côté, l'échantillonage du

temps part d'un événement qui a pour son expression la plus faible une extension temporelle discrète jusqu'à une extension maximale continue, ce qui produit à l'extrême la disparition de l'événement au profit d'une situation de routine régulière. De l'autre, l'échantillonage de l'espace part d'un événement qui a une extension spatiale faible jusqu'à une présence ubiquiste dans les mailles, ce qui conduit là encore à la disparition de l'événement.

Tableau 1. Synthétiser des évènements par le croisement de modes d'extension spatiale et de modes d'occurrence temporelle

MODE D'EXTENSION SPATIALE		MODE D'OCCURRENCE TEMPORELLE						Fin de l'événement= Routine	
		Temporalité discrète		Temporalité répétitive		Temporalité cyclique			
		Singularité	Plusieurs jours	Période programmée	Durée imprévue	Un jour de la semaine, du week-end, un laps de temps horaire	Espace de phase		
Localization	Unique	Attentat, incendie, Concert U2, COP21		Concerts Rock, festivals, Roland Garros				Fin de l'événement= Routine	
	Multi-sites		Lieux touristiques, manifs	Fête de la musique	Grève	Dimanches touristiques			
Couverture territoriale	Itinéraire		Tour de France	Défilés 1er Mai, 14 Juillet, 11 novembre, Techno-parade, Tour de France	Embouteillages, circulation				
	Zone			Marchés de Noël	Fréquentation touristes				
	Espace francilien entier				Inondation, pic de pollution	Périmètre touristique	Système événementiel, concurrence des évènements		
Disparition de l'évènement = Ubiquité									

### Perspectives pour 2016-2017:

#### a. Visualisation

Comment visualiser la « ville éphémère » de manière statique et animée : défilé journalier, déroulé horaire, sur les rythmes urbains, sur les concentrations spatiotemporelles (clusters temporels et spatiaux d'usagers de téléphonie mobile ou

de tweets). Pour le développement d'images animées de graphe dynamique, ce champ nécessite de réfléchir à l'adaptation des données de téléphonie mobile et des données twitter à la traduction de réseaux d'interaction (analyse à l'échelle de l'alias, dans un respect éthique). Un premier test a été réalisé sous logiciel graphstream des données twitter. La complexité de la programmation nécessaire nous a conduit vers d'autres modèles de graphes dynamiques comme Mobility graph (T. Landesberger, F. Brodkorb, Ph. Roskosch, N. Andrienko, 2015), ou encore vers les recherches mathématiques d'Aziz-Alaoui sur les réseaux d'interaction.

b. Modélisation

Réflexion sur les choix des critères d'implémentation spécifiques aux données issues des réseaux sociaux (critères qui diffèrent de ceux des données de téléphonie mobile) et premiers tests de modélisation et de simulation sous environnement GAMA des mobilités intraurbaines. Intégration des résultats dans le simulateur SiLPE.

c. Interprétation pour la ville : Représentativité des données

Comparer les apports d'information spatiale et temporelle sur le fonctionnement des espaces urbains et des mobilités en ville, entre les données de téléphonie mobile et les données Twitter. La question de la représentativité des données Twitter et des données de téléphonie mobile se pose. La pénétration du téléphone portable dans les comportements sociaux contemporains en fait un capteur représentatif de la population circulant en ville ; en revanche, les usagers du réseau social Twitter ne recouvrent pas la totalité des usagers des espaces urbains mais plutôt une catégorie particulière de la population plutôt jeune (60% ont moins de 35 ans, enquête institut IPSOS 2013).

**AVANCEMENT DU TRAVAIL AU COURS DE LA PERIODE 2016 - 2017 – PULSATIONS URBAINES ET DONNEES NUMERIQUES LIBREMENT PARTAGEES**

a. Réflexion sur l'élaboration d'une interface de visualisation interactive des données en temps réel.

a1. Recrutement d'un ingénieur d'études (1 mars 2017 – Avril 2019, 25 mois, Olivier Gillet)

a2. Pour la recherche de solutions de visualisations dynamiques et interactives des mobilités urbaines, et pour l'adaptabilité de la plateforme de simulation SiLPE ; cette dernière étant élaborée à partir des données de téléphonie mobile et simulant le déroulement d'une grande manifestation culturelle ou sportive sur un espace urbain.

a3. Avancées méthodologiques : Mise au point d'une méthode de clustering (figure 3) permettant de transformer les données géolocalisées ponctuelles de Twitter en graphes dynamiques, afin de détecter les flux de mobilités et les polarisations préférentielles sur l'espace. Pour ce faire, nous nous sommes inspirés du programme

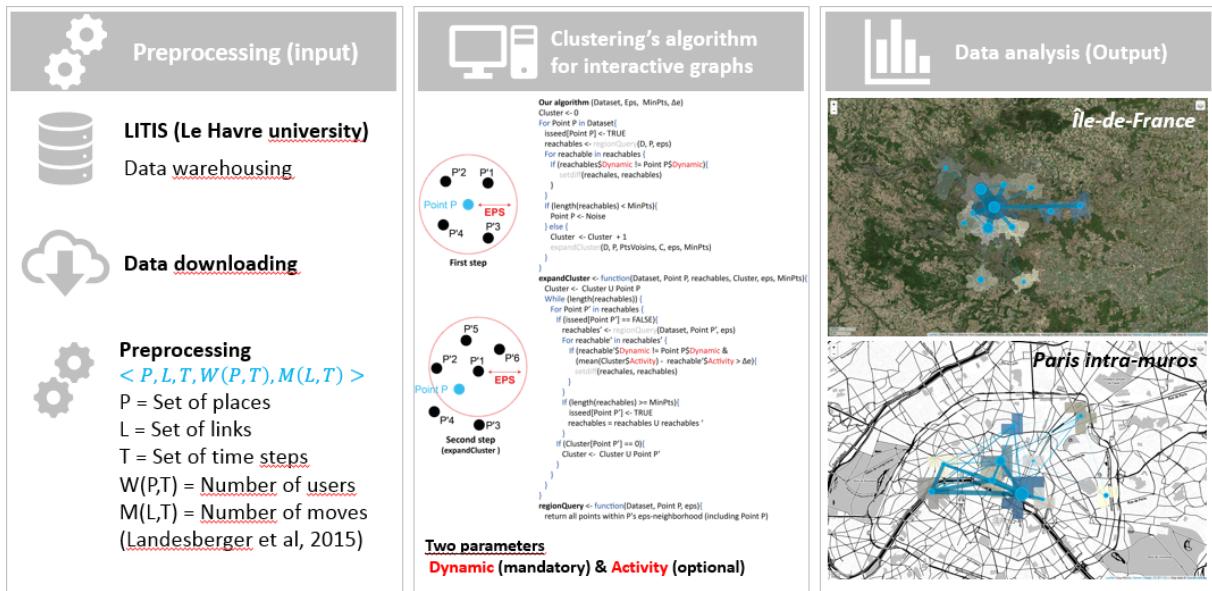


Figure 3. Algorithme DigitalMob, Gillet, Elissalde, Lucchini

Mobiliy Graphs (Landesberger et al..., 2015) appliqué aux enregistrements de tweets dans le Grand Londres, afin de saisir les comportements de mobilité à travers les volumes de mouvement (flow magnitude) et les différents pas de temps. Le volume considérable des enregistrements de déplacements a conduit ces auteurs à utiliser des méthodes de clustering pour regrouper ces flux par grandes unités spatiales et temporelles. Leur méthode permet d'agrégner des lieux et de transformer des flux entre les lieux individualisés en flux entre des agrégats spatiaux (c'est-à-dire des quartiers ou des lieux précis). Un point important de méthode porte sur la procédure de clustering mobilisée (Kisilevich et al,2009). Dans Mobility Graphs, la méthode d'agrégation spatiale s'appuie sur l'algorithme DBSCAN en y ajoutant les caractéristiques de proximité spatiale et la force des flux. Cet algorithme capture et met en évidence des mouvements à l'échelle de l'ensemble de l'agglomération londonienne. Nous avons également suivi Derya et Alp (2007) dans l'extension (dénommée ST-DBSCAN) qu'ils proposent. Contrairement aux algorithmes existants de regroupement basé sur la densité, ST-DBSCAN peut regrouper les données spatio-temporelles en fonction aussi bien de leurs attributs non spatiaux, mais aussi spatiaux et temporels. De plus cet algorithme résout le problème posé par les contrastes de valeurs des objets situés en frontière de deux clusters voisins. Par ailleurs ce travail a tenu compte des interrogations qui se sont faites jour sur la valeur heuristique des algorithmes utilisés dans le traitement des Big Data (Kwan, 2016).

#### b. Modélisation:

##### b1. Identification des robots

Un nettoyage des données relatives aux twittos a été réalisé, avec l'identification des robots selon deux critères : la vitesse de circulation supérieure à 80 km/h ; la capacité à twitter plus de 18h en continu par jour.

Nous avons choisi de créer une autre méthode de détection de robots, en créant quelques filtres de nettoyage, plutôt que d'utiliser la méthode de classification

supervisée développée par le centre sur les systèmes complexes de l'université de l'Indiana (<http://botornot.co/>). En effet la méthode américaine basée sur de multiples critères, dont les critères sur le contenu anglais des messages et sur le sentiment des messages, ne convenait pas aux données françaises de réseaux sociaux.

## b2. Catégorisation des utilisateurs

### b2.1 Modèles comportementaux d'usagers Twitter:

Selon les mobilités des utilisateurs, leurs moments d'activité, les lieux préférentiels, une catégorisation multicritère des usagers du réseau social Twitter à Paris a été dressée

-La mobilité est envisagée selon la distance parcourue, la vitesse de circulation, le nombre de cellules et de quartiers parisiens couverts.

-Les moments d'activité des twittos sont connus par le nombre de jours d'activité, de semaines, de mois, ainsi que dans le degré de concentration temporelle de l'activité communicationnelle (Gini temporel). La préférence horaire de l'activité est également connue par tranches ([0,2], [2,6], [6,10], [10,14], [14,18], [18,22], [22,0])

-La préférence de zones dans l'espace parisien est indiquée par les choix de secteurs préférentiels, par le nombre de cellules, et par le degré de concentration spatiale dans certaines zones de Paris (Gini spatial).

### b2.2 Modèles comportementaux de cellules des quartiers parisiens

Le comportement des quartiers parisiens se définit par l'analyse des rythmes spatio-temporels observés dans chaque cellule de l'espace parisien. Cela comprend l'animation sur l'année entre un minimum et un maximum d'activité ainsi que l'intensité de l'activité (nombre d'usagers et nombre de communication tweets). De même, on intègre l'appartenance de chaque cellule à un regroupement cluster spécifique selon le gradient de récurrence du cluster (nombre de jours d'activité), selon le niveau de concentration d'usagers et de communication tweets par rapport à l'ensemble de l'espace parisien et selon une localisation préférentielle de secteur dans Paris.

### b2.3 Implémentation des modèles de comportements d'usagers et des modèles comportementaux des cellules des quartiers parisiens

Les patterns définis dans les points b2.1 et b2.2 seront implémentés dans la plate-forme de simulation multi-agents, SiLPE, courant 2018. Les intrants constitueront le socle de la simulation en définissant le comportement des agents et l'activité des attracteurs (cellules des quartiers parisiens). Les sorties de simulation seront comparées aux observations réelles pour mesurer la pertinence et le calibrage des critères d'implémentation.

## c. Interprétations des mobilités dans la ville

c1. Représentativité : Extension du captage des données pour travailler sur des séquences temporelles de 2 mois, durant la totalité des années 2015, 2016 et 2017.

c2. Analyse de la dynamique comportementale et des mobilités en situations routinière et perturbée

La traduction spatiale et temporelle des informations géolocalisées du réseau social Twitter révèle de fortes disparités dans l'animation et la fréquentation des quartiers parisiens. La structure des graphes des déplacements des usagers de Twitter présente des variabilités spatiales et temporelles considérables dans les itinéraires suivis. Cette variabilité semble inhérente au degré d'incertitude contenu dans l'acte de twittage au niveau de l'individu. Pour autant, les agrégats spatiaux et temporels produits par l'algorithme ont permis d'identifier la récurrence des polarisations majeures et des trajectoires préférentielles dans l'espace parisien. Seuls quelques rares événements sportifs ou dramatiques, et quelques phénomènes éphémères dans des quartiers, semblent susceptibles de corriger de leur empreinte cette régularité. Etudier les unes et les autres permet d'en saisir leur développement et la réactivité des comportements pour prévoir la probabilité de futurs déplacements et zones d'intérêt dans la ville.

c2.1 Le traitement des tweets sert de révélateurs aux phénomènes de centralité urbaine :

Les déplacements des usagers de ce réseau social n'investissent pas de manière ubiquiste l'espace parisien, et associent des formes de hotspots et des lieux à fréquentation sporadique, des axes préférentiels et d'autres temporaires. Au fil des semaines de l'année 2015, la structure du graphe des déplacements reste relativement stable (environ 70 noeuds chaque semaine), excepté pour la semaine du 13 novembre 2015<sup>2</sup>. La multiplicité des centres attracteurs dans Paris lui confère une forte connectivité (indice béta supérieur à 8) mais présentant des différences importantes selon l'intervalle de temps choisi (cf figure 4 jour/semaine/mois). Car derrière l'apparent mouvement brownien des itinéraires suivis par les usagers de Twitter, les lieux d'émission se concentrent sur un petit nombre de sommets récurrents (Lucchini et al, 2017). Il arrive cependant que le dispositif habituel du graphe soit bousculé par des noeuds moins fréquents, qui s'intercalent en révélant une activité émergente et momentanée.

---

<sup>2</sup> En volume, les déplacements des usagers du réseau social Twitter s'élèvent à plus de 5000 mouvements par semaine pour une moyenne de 10000 utilisateurs géolocalisés. Un pic de communication inhabituel, correspondant aux attentats du Bataclan, est identifiable durant la semaine 46 (9 au 15 novembre) avec 40000 tweets échangés sur l'ensemble de l'Île de France.

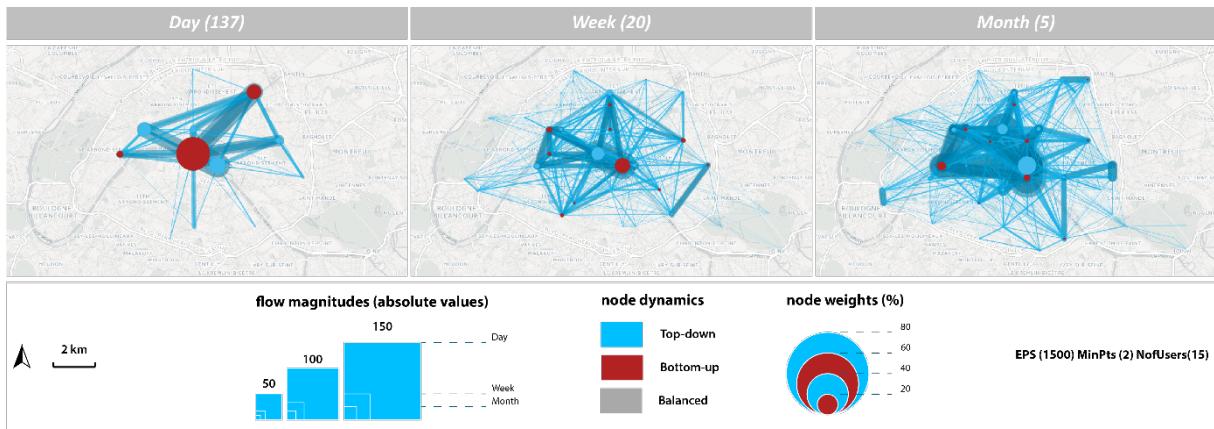


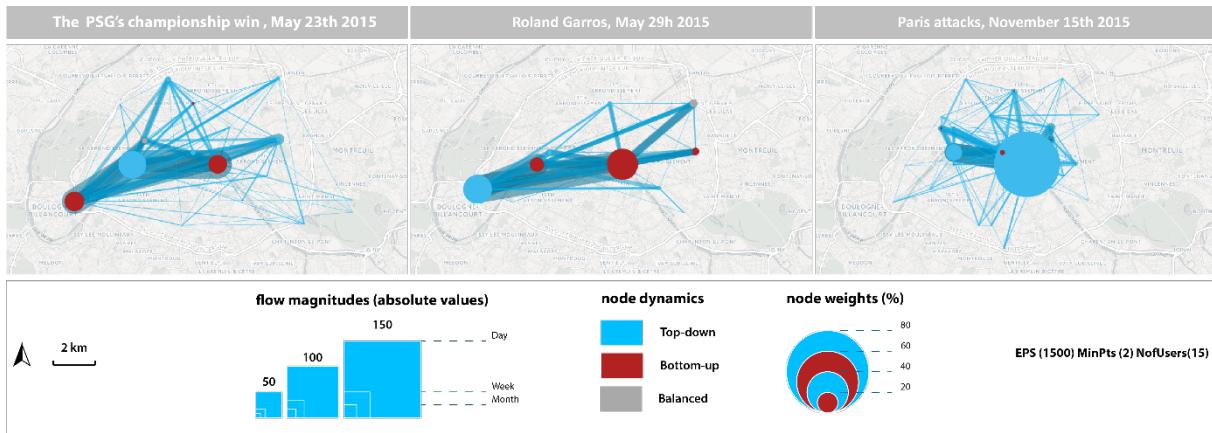
Figure 4. Variabilité du graphe, pour une même période calendaire, selon l'intervalle de temps retenu

## c2.2 Des configurations globales de graphe variant selon le type d'évènement :

Les lieux successifs d'émission de messages des utilisateurs de Twitter regroupés sous forme de graphes dessinent des mobilités à mettre en relation avec d'éventuels évènements urbains (Lucchini et al, 2016) ou d'un jour particulier (jours fériés et lendemain d'attentat). Les indicateurs servant aux diagnostics reprennent les indices définis par K. Kansky (Kansky, 1963) et repris par le GDR Réseaux (<http://groupefmr.hypotheses.org>).

D'un indicateur à l'autre, la réactivité des graphes en matière d'intensité (indice thêta) de connexité (indice betâ) et de connectivité (indices alpha et gamma) varie fortement selon les journées étudiées. Selon le type d'évènement (commémorations, manifestations), selon la durée des congés, et selon la manière dont cet évènement investit l'espace public (rassemblements, défilés) et les formes de localisation qu'il prend (ubiquiste, mono-site ou pluri-sites), le graphe résultant variera sensiblement.

Cependant, quelles que soient les différentes mesures de la centralité (Shimbel, betweenness, centrality) utilisées, rares sont les évènements organisés susceptibles de déformer cette structure pérenne. La situation du samedi 14 novembre 2015 (figure 5), lendemain des attentats du Bataclan est à cet égard tout à fait atypique. Confrontés au choc des attentats, les usagers de Twitter, comme le reste de la population, ont réduit leurs déplacements, mais pas leurs émissions de tweets. Le besoin d'échanger et le sursaut de la société face à ce drame se sont traduits par une croissance exponentielle (quatre fois plus ce jour-là) du nombre de tweets envoyés. Le cas du tournoi de tennis de Roland Garros est également original. La capacité du quartier de la porte d'Auteuil à « déformer » le graphe d'ensemble est atypique au point de totaliser certains jours 28% des tweets géolocalisés enregistrés dans Paris. Pour autant, le volume des spectateurs pour un évènement n'est pas un gage d'homothétie en matière de twittage. Ainsi le festival de musique rock des journées Solidays sur l'hippodrome de Longchamp regroupe moins de twittos émetteurs que le quartier du Marais ou le quartier de Charonne dans l'Est parisien sans évènement particulier.



**Figure 5. Des évènements modifiant la structure du graphe quotidien parisien**

### Perspectives pour 2017-2018:

#### a. Visualisation

- a1. Réflexions sur la comparaison de deux graphes pour en estimer la ressemblance. Aller au-delà des indices globaux sur les graphes qui peuvent rester stables alors qu'on observe deux formes différentes d'implantation spatiale de graphes. Besoin de créer des indicateurs locaux signalant ces différences de formes.
- a2. Travail envisagé sur le contenu sémantique des tweets, et des #hashtags.

#### b. Modélisation

- b1. Recherche de critères pertinents d'implémentation pour les données des réseaux sociaux.
- b2. Transférabilité de la plateforme SiLPE.
- b3. Réflexion autour de la probabilité des futurs déplacements et zones d'intérêt dans la ville

#### c. Interprétation

- c1. Compréhension du fonctionnement urbain.
- c2. Détection d'événements dans et hors calendrier

### AVANCEMENT DU TRAVAIL AU COURS DE LA PERIODE 2017 - 2019 – Pulsations urbaines et données numériques librement partagées

#### a. Visualisation

Deux applications ont été développées en R et sont hébergées par la TGIR Humanités numériques.

#### a1.1. Caractériser la structure des graphes hebdomadaires obtenus

La première application (Application 1, figure 6) génère des graphes de déplacements préférentiels quotidiens, hebdomadaires ou mensuels selon la méthode de partitionnement de données *DigitalMob* présentée dans la figure 3.

L'intérêt de cette application est de fournir des indicateurs permettant, au-delà de l'observation visuelle de caractériser les graphes produits par les déplacements des Twittos. L'indicateur principal utilisé ici porte sur le degré des sommets des graphes hebdomadaires. Il présente l'intérêt de souligner la convergence des flux de déplacements et donc d'évaluer l'attractivité changeante de quelques sommets remarquables ayant en commun d'être des points de convergence dans les déplacements des émetteurs de tweets. L'interrogation porte sur la coïncidence entre une régularité dans la hiérarchie des sommets principaux des graphes au fil des semaines et la variabilité de la forme des graphes, de la ventilation des degrés entre les différentes catégories de sommets, tout comme l'irrégularité des sommets de niveau inférieur ? On peut résumer l'interrogation sur la structure des graphes vue à travers les degrés des sommets autour de l'alternative: polarisation ou équirépartition des degrés des sommets ?

Les résultats issus de l'application présentent une situation en apparence paradoxale dans les graphes obtenus sur les années 2015 et 2016. Ils présentent tous une importante polarisation, mesurée par la part occupée par les 10% de sommets à plus forts degrés (moyennes : 25% en 2015 et 27.7% en 2016<sup>3</sup>). Néanmoins ce poids important des plus gros sommets ne crée pas un déséquilibre tel qu'il s'accompagnerait d'un poids réduit de sommets à très faibles degrés. Les indices de Gini calculés chaque semaine de 2015 et de 2016, (2015 : 0.35 ; 2016 : 0.38) demeurent toujours inférieurs à la moitié d'un déséquilibre absolu, rendant ainsi compte d'une structure plus équilibrée pour le reste des sommets (figure 7).

Si ces indicateurs conduisent à souligner le poids des hubs, ils ne sauraient réduire ces graphes au seul caractère polarisé. En termes de compréhension de la spécificité de la structure des graphes issus des déplacements des twittos cela signifie que l'on a affaire, ni à des graphes entièrement aléatoires, ni à des graphes uniquement organisés autour de hubs (propriété des graphes « scale free » selon Barabasi). D'où l'hypothèse de graphes hybrides où cohabitent des hubs et des sommets avec des degrés moyens.

---

<sup>3</sup> Lire : les 10% de sommets les plus importants concentrent en moyenne un quart du montant total des degrés des graphes en 2015

## Caractères des degrés des sommets des graphes hebdomadaires en 2015

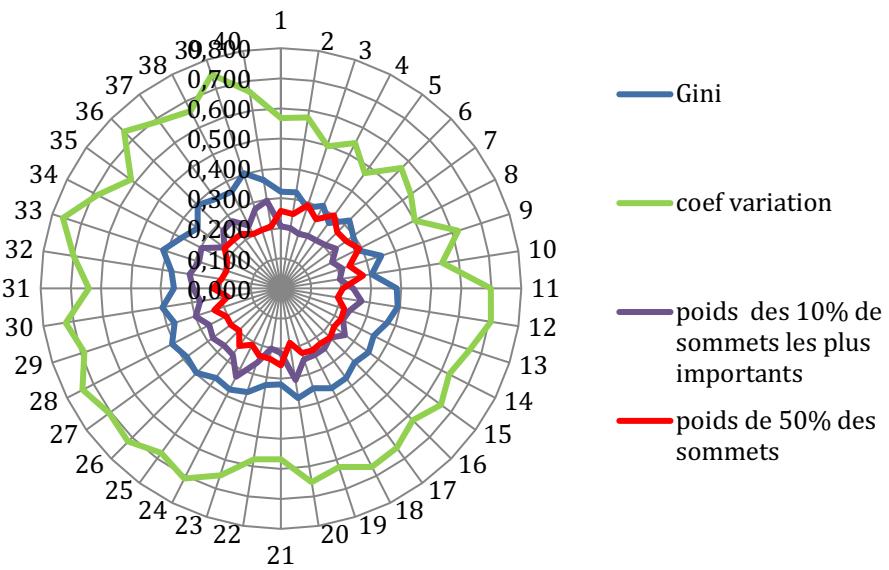


Figure 7. Utiliser le degré des sommets pour caractériser la structure d'un graphe hebdomadaire

### a1.2. Evaluer la similarité interhebdomadaire

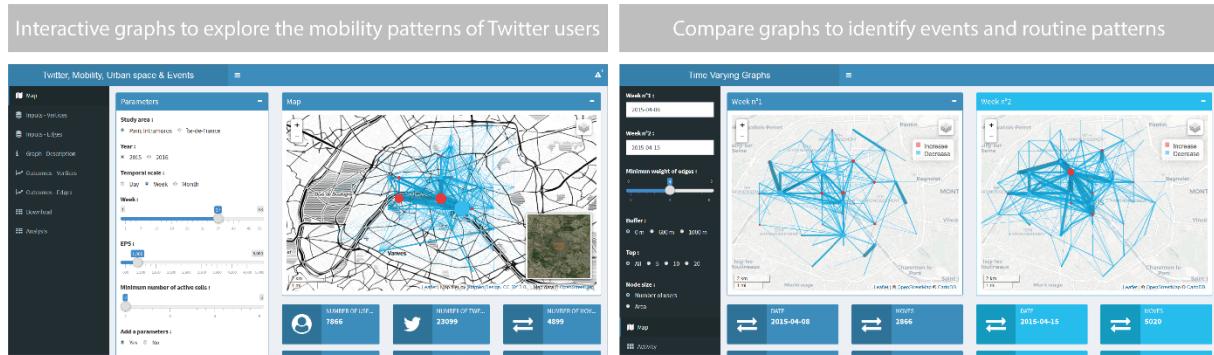
La seconde application (Application 2, figure 6) mesure le degré de similarité entre des graphes selon deux indicateurs locaux, l'un sur la similarité spatiale et l'autre sur la similarité hiérarchique. Au-delà des indices globaux classiques des graphes, notre méthodologie investit la connaissance spatiale locale des clusters et des liens.

Les indices de similarité sont définis comme suit :

- **Indice de similarité spatiale** : Continuité dans la polarisation intra-urbaine spatiale : indice local repérant la continuité dans le temps des zones d'intérêt (présence des mêmes clusters d'une séquence temporelle à une autre : récurrence spatiale). Pour identifier les similarités spatiales, l'indice spatial identifie les nœuds en communs d'un graphe sur l'autre. A partir de ces nœuds communs, les liens sont également comparés, c'est-à-dire on observe leur croissance, décroissance et leur intensité.

- **Indice de similarité hiérarchique** : Continuité dans la hiérarchie des polarisations intra-urbaines : indice local repérant la continuité de l'ordre dans la hiérarchie des concentrations urbaines (présence de la même hiérarchie de clusters d'une séquence temporelle à une autre : récurrence hiérarchique). La position hiérarchique des nœuds est comparée d'une séquence temporelle à une autre. L'indice identifie la similarité hiérarchique, c'est-à-dire la continuité des mêmes hotspots dans les quartiers parisiens

**Figure 6. Application n°1 pour générer les graphes (à gauche), Application n°2 pour comparer (à droite) les graphes**



URL Application 1 : [https://analytics.huma-num.fr/UMR\\_IDEES/XTERM\\_TCA\\_SOCIAL\\_NETWORK/](https://analytics.huma-num.fr/UMR_IDEES/XTERM_TCA_SOCIAL_NETWORK/)

URL Application 2 : [https://analytics.huma-num.fr/UMR\\_IDEES/XTERM\\_TVG\\_SOCIAL\\_NETWORK/](https://analytics.huma-num.fr/UMR_IDEES/XTERM_TVG_SOCIAL_NETWORK/)

a2. Modification de la sémiologie pour améliorer la visualisation des nœuds du graphe dans la plateforme interactive :

Un travail a été mené pour améliorer la visibilité et la restitution visuelle des nœuds du graphe à l'issue du graphe dynamique généré par l'algorithme de clustering. On utilise la racine carrée du nombre d'usagers pour cartographier la taille du nœud, selon les règles de la sémiologie classique. Cela améliore la capacité de comparaison entre deux cartes.

a3. Travail sur le contenu des messages : analyse des # et du contenu des tweets

Au cours de la période novembre 2018 – février 2019, plusieurs méthodologies ont été testées pour mettre en place un protocole permettant l'analyse du contenu des tweets émis durant les années 2015 à 2018. Un premier travail qualitatif a consisté à élaborer un dictionnaire des grands thèmes de discussion à partir des messages. Les problèmes de casse orthographique et d'appellation raccourcie sont immédiatement identifiés. Un état de l'art sur la littérature en question a permis de conduire le travail vers une approche plus systématisée, en s'appuyant sur la démarche d'analyse des discours de tweets développée par l'université de Sheffield (GATE Cloud). Cela touche à l'analyse textuelle donnant la probabilité que tel mot appartienne à tel grand thème (LDA sous le langage R). Cela touche aussi à la reconnaissance des lieux cités (NER Net Entity Recognizer). La question linguistique (français, anglais) est présente.

Nous souhaitons pouvoir catégoriser les espaces parisiens selon le type de communications émises (grands thèmes) et mesurer l'évolution de ces thématiques dans le temps intégrant par là la recherche sur les événements : Où parle-t-on de tel thème et à quelle fréquence dans l'année ? De même, nous souhaitons pouvoir construire des profils d'individus selon l'attaché à un ou plusieurs thèmes spécifiques.

a.4 Développement d'une Application 4 permettant de visualiser les mobilités à partir de données issues de la téléphonie mobile

De premières avancées sont réalisées en janvier et février 2019 pour visualiser des graphes dynamiques à partir de données de téléphonie mobile. Le jeu de données de l'Armada 2008 sert de base test et nous utilisons, pour le regroupement des déplacements individuels en graphes dynamiques, l'algorithme de clustering *DigitalMob*, initialement conçu à partir des données du réseau social Twitter.

## b. Modélisation

### b1. Critères pertinents d'implémentation :

#### b1.1 Définition des inputs et outputs de la plate-forme SiLPE 2

Les intrants de la simulation correspondent aux modèles comportementaux d'usagers et aux modèles des cellules des quartiers parisiens qui interagissent. Un travail approfondi sur la catégorisation des usagers est mené actuellement, pour s'assurer d'une bonne typologie des profils usagers. Plusieurs méthodes de classification (CAH, Kmeans) sont testées, avec une réflexion que se porte aussi sur le nombre de classes pertinentes. Les données retenues pour catégoriser les individus en profils sont fondées sur leur activité, leur mobilité, et la distance maximale parcourue : nombre de cellules parcourues ; nombre de quartiers parcourus ; distance parcourue ; nombre de tweets émis ; nombre de mouvements ; rayon d'action à partir du centre de gravité de l'usager ; appartenance à un cluster parisien. Les données retenues pour catégoriser les cellules des quartiers parisiens sont : appartenance à un quartier parisien ; pourcentage de concentration des tweets émis ; pourcentage de concentration des usagers ; nombre de jours d'activité de chaque cellule ; appartenance aux clusters TOP10 ou BOTTOM20 ou MEDIUM.

Les outputs correspondent aux nombres d'usagers et aux nombres de mouvements générés par l'interaction entre les deux modèles comportementaux (usagers et cellules). Les outputs seront ensuite transformés en graphe de mobilités (algorithme de clustering et de visualisation).

#### b1.2 Choix des pas de temps et du périmètre spatial.

La semaine est le pas de temps choisi pour caractériser de façon pertinente les mobilités à partir des données des réseaux sociaux. Ce pas de temps diffère de celui qui serait pertinent pour la téléphonie mobile : la journée ou l'heure.

L'espace parisien est découpé en cellules de 600x600m depuis un centre localisé à l'hôtel de ville de Paris. La superficie totale couverte est de 105 km<sup>2</sup>

#### b1.3 Travail sur l'ordre des actions de l'algorithme

La figure 8 indique l'ordre des actions de l'algorithme pour simuler le déplacement d'un usager. Pour un usager, un nombre de tweets est simulé selon son profil d'appartenance (cf input modèles comportementaux d'usagers). Puis, l'usager

effectue un mouvement ou non ; s'il doit se déplacer, des probabilités permettent que l'usager se dirige vers une cellule de tel ou tel secteur de l'espace parisien ; chaque cellule ayant une capacité d'attraction et une capacité d'accueil maximale. Chaque usager respecte, selon son profil, une distance parcourue maximale à ne pas dépasser.

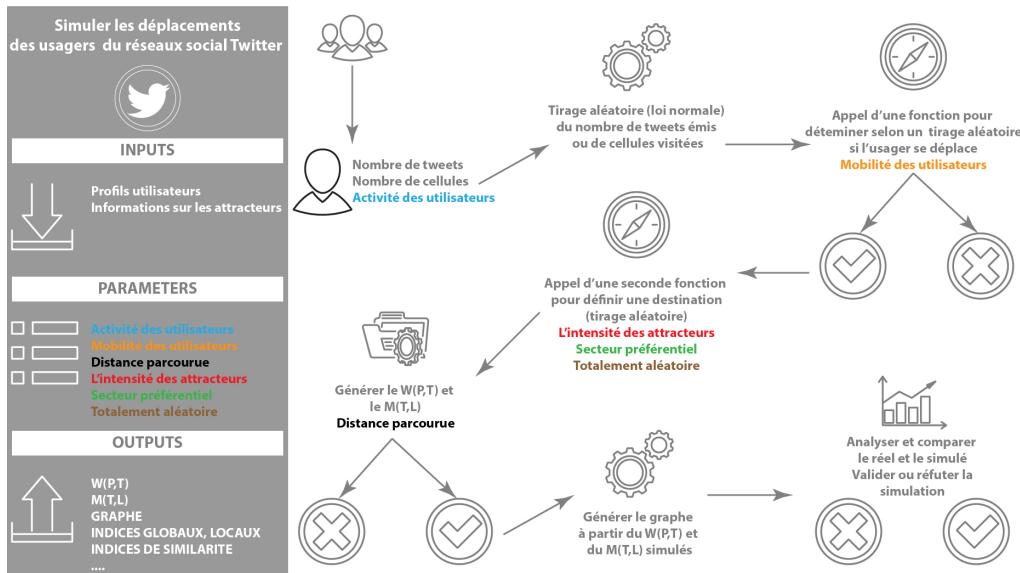


Figure 8. Proto-modèle du simulateur et de l'ordre des actions de l'algorithme

#### b1.4 Elaboration du plan d'expérience pour les simulations et le calibrage du simulateur

Un plan d'expériences est mis en place pour déterminer une combinaison de paramètres pertinents pour faire tourner le simulateur. Il importe de valider ou non certains paramètres de la simulation suivant leur impact discriminant ou pas pour la formation des graphes. Nous procédons à des analyses entre le simulé et le réel sur un certain nombre de simulations, et nous utilisons l'écart entre le simulé et la réalité pour juger du degré de ressemblance, à l'aide des indices de dissimilarité spatiale et hiérarchique.

Le plan d'expériences choisi, de manière à envisager l'ensemble des situations de complexité, s'articule sur la reproduction des mobilités de 4 situations hebdomadaires, correspondant à 4 semaines de l'année 2016 (cf. figure 9), proposant des situations différentes de mobilités et de temps social, suffisamment contrastées pour caractériser des semaines-types de l'année : semaine 18 (début mai), semaine 25 (fin juin), semaine 28 (mi juillet), et semaine 36 (début septembre).

Semaines (2016)	Nombre d'utilisateurs	Nombre de tweets	Nombre de mouvements
18	6823	8431	1256
25	11293	13855	2022
28	7493	8861	1257
36	5978	7329	1044

### **Figure 9. Description des 4 semaines de l'année 2016 choisies pour le calibrage des simulations**

Pour simuler les déplacements, nous avons fait correspondre à chaque semaine-type la caractérisation des profils usagers et la caractérisation des niveaux d'attraction territoriale observée empiriquement. Nous avons ensuite paramétré le simulateur pour observer 60 combinaisons de paramètres possibles (x 50 itérations de chaque combinaison), pour chaque semaine (4 semaines d'analyse) des deux classifications utilisateurs (classification utilisateurs avec préférence spatiale; classification utilisateurs sans préférence spatiale), pour initier les déplacements des usagers dans Paris. Puis nous avons lancé 24000 simulations en injectant aléatoirement les individus simulés dans l'espace parisien. Chaque individu simulé appartient à un profil d'usagers particulier et doit faire le choix de se déplacer ou non à chaque pas de temps, doit choisir une destination selon des attracteurs territoriaux en action, et émettre un ou plusieurs tweets.

b1.5 Introduction d'une modification de poids d'une cellule territoriale dans l'espace parisien :

Dans la plateforme interactive, nous pouvons désormais modifier le poids d'une cellule territoriale en particulier – donc indiquer une capacité d'attraction d'usagers exceptionnelle - et voir quelles modifications cela va entraîner sur le graphe de mobilité des usagers du réseau social. Cette modification de la capacité d'attraction d'une cellule de l'espace parisien va nous servir pour intégrer lors des simulations le déroulement d'un événement exceptionnel attendu, susceptible d'attirer beaucoup d'usagers.

b2. Modification de la plateforme SiLPE

La plate-forme SILPE a initialement été conçue pour accueillir des données de téléphonie mobile. Nous travaillons actuellement sur l'intégration des données issues des réseaux sociaux. Nous sommes passés de l'environnement de simulateur GAMA à un environnement de simulateur sous R (cf [Concordance entre objectif annoncé et mené pour l'action 2 Modélisation des usages des territoires et des mobilités induites](#)). Nous lançons et analysons actuellement des simulations pour rendre intelligible le système d'interactions identifié entre les différentes catégorisations des données sur l'activité des twittos, sur la distribution dans l'espace et sur les séquences temporelles. Nous avons réglé le temps de calcul pour les simulations à partir des données issues du réseau social Twitter. Nous travaillons actuellement pour réduire ce temps de calcul des déplacements simulés lorsque les données injectées proviennent de la téléphonie mobile. En effet, le temps de calcul pour les simulations à partir des données de téléphonie mobile est considérable (rappel : une journée de téléphonie mobile correspond en moyenne à 4 millions d'enregistrements).

b3. Probabilités de futurs déplacements et zones d'intérêt.

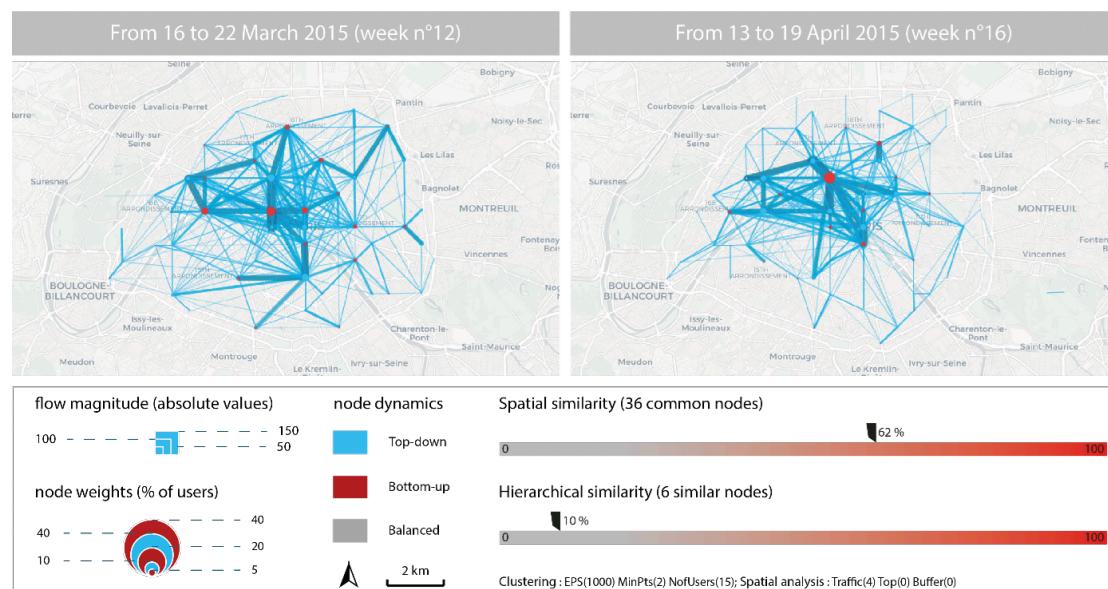
Les simulations pourront être utilisées pour estimer de futurs déplacements de population et zones d'intérêts dans l'espace urbain (cf paragraphe b1.4). La modification de la capacité attractive d'une cellule de l'espace parisien (cf paragraphe b1.5) permettra d'explorer le graphe de mobilité généré en cas d'événement exceptionnel.

Un travail sur les graphes complexes est mené (Hotspots stables mais nœuds inférieurs très variables) et également sur les réseaux aléatoires pour aller des calculs de probabilités (Barabasi A.-L., 2014). La question est de savoir si l'on peut atteindre un degré de précision dans la prédictibilité du graphe pour tel ou tel événement.

#### b4. La comparaison entre situation simulée et situation réelle: réalisation de l'Application web 3 :

L'Application 3 permet de simuler des graphes de mobilité à partir d'une situation donnée (ex : reproduire le graphe des mobilités des usagers pour une semaine donnée) et d'anticiper l'augmentation de l'attractivité d'un point précis de l'espace urbain (ex : doubler la fréquentation attendue pour un festival donné). Cette « Application 3 » a été développée sur la période 2018-2019.

([https://analytics.humanum.fr/UMR\\_IDEES/XTERM\\_SIMULATION\\_SOCIAL\\_NETWORK/](https://analytics.humanum.fr/UMR_IDEES/XTERM_SIMULATION_SOCIAL_NETWORK/) ).



**Figure 10.** Niveaux de ressemblance entre la semaine 12 et la semaine 16 de l'année 2015 : Indices de similarité spatiale et hiérarchique

#### c. Interprétation

##### c1. Les apports des indices locaux dans la connaissance des comportements des quartiers parisiens

Les indices localisés de similarité apportent des éléments qui restent inaudibles derrière les métriques globales habituelles des graphes (indices de Kansky qui n'envisagent pas la dimension spatiale). Ces indices locaux ont la capacité d'identifier un positionnement spatio-temporel d'animation pour les quartiers d'une ville. Ces indices de similarité spatiale et hiérarchique révèlent la capacité des quartiers urbains à être des nœuds qui s'animent régulièrement ou au contraire à être des quartiers qui ont une activité plus diversifiée (peu d'animation, animation moyenne, très grande animation).

Si les indices de Kansky ne détectent pas des changements dans les polarisations des quartiers parisiens, les indices locaux révèlent au contraire ces changements. En ce sens, l'impact des événements peut se lire dans le degré de similarité spatiale et dans le degré de similarité hiérarchique. La figure 10 indique la comparaison entre deux semaines qui conservent une ressemblance importante dans la localisation des clusters (indice de similarité spatiale de 60%). En revanche, l'indice de similarité hiérarchique de 10% montre que l'intensité de l'activité se répartit dans différents hotspots entre les deux semaines.

## c2. Animation des quartiers parisiens : Comparaison des clusters et des flux

L'application n°2 permet de distinguer entre deux semaines les clusters qui sont en commun et ceux qui ne le sont pas. La partie gauche de la figure 11 présente la comparaison entre la semaine 16 et 17 de 2015, les clusters en rouge sont communs aux deux semaines. Sur ces clusters communs, l'observation des liens est possible. La partie droite de la figure 11 illustre l'augmentation (ou la diminution) de l'intensité des clusters communs d'une semaine sur l'autre. Le renforcement (ou l'infexion) des flux de mobilité est également visible. Par exemple, le cluster rouge au Louvre signale la présence d'un événement introduisant une attractivité accrue la seconde semaine. A l'inverse, le cluster bleu sur les Champs-Elysées montre la fin d'un événement avec le départ d'usagers.

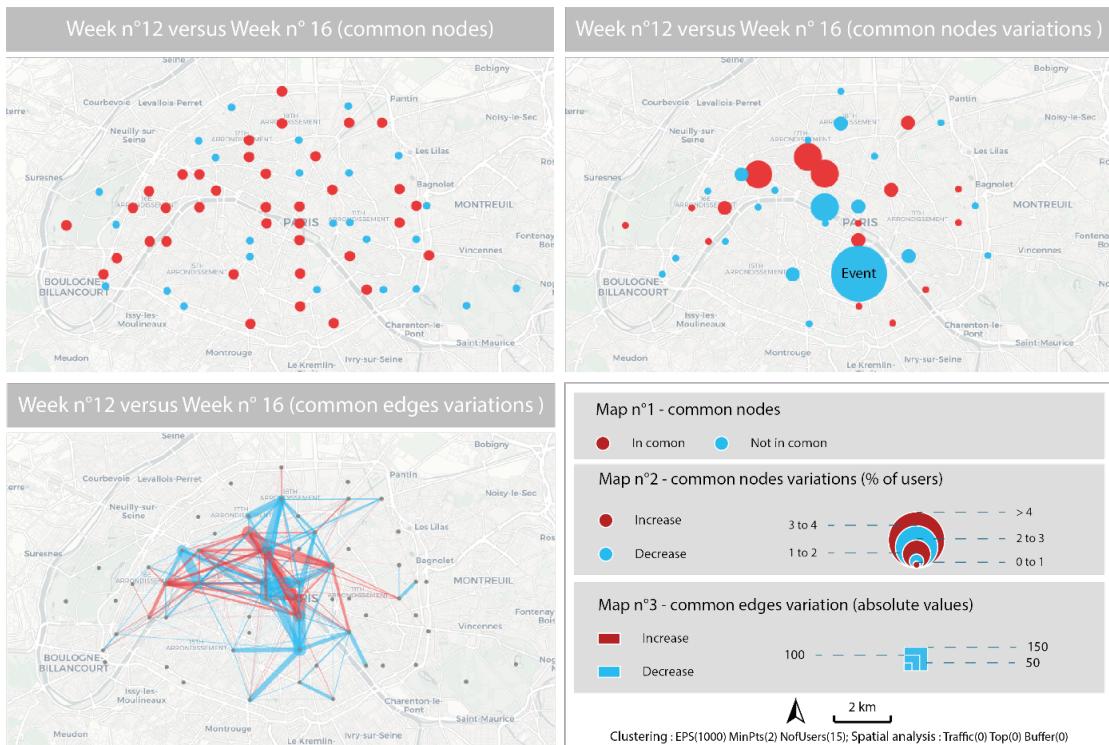


Figure 11. Comparaison des clusters et des liens entre deux semaines

### c3. Apports de la comparaison entre situation simulée et situation réelle

A l'examen de l'ensemble des 24000 simulations et de leur efficacité à reproduire les déplacements réels des usagers dans Paris, quelle que soit la semaine observée en 2016, trois combinaisons de paramètres dans le simulateur se détachent assez nettement des 60 autres : elles proposent des déplacements simulés de Twittos dans Paris conformes à la réalité. Les résultats des déplacements sont analysés sur la base de 6 indicateurs de réussite (cf. figure 12).

Indicateurs de réussite de la simulation	Semaine 18	Semaine 25	Semaine 28	Semaine 36
Déplacements	Conforme	Conforme	Sous-estimation 50 liens	Conforme
Degrés de polarisation	Conforme	Conforme	Conforme	Conforme
Ressemblance spatiale	50 %	45 %	57 %	54 %
Ressemblance hiérarchique	70 %	60 %	80 %	70 %
Volume d'usagers	Conforme	Conforme	Conforme	Sur estimation 1000 usagers
Volume de tweets	Sous-estimation 200 tweets	Sous-estimation 1000 tweets	Sous-estimation 1000 tweets	Sur estimation 1000 tweets

Figure 12. Indicateurs de réussite de la simulation pour les semaines 18, 25, 28, et 36 en 2016 pour les profils utilisateurs avec préférence spatiale selon le paramétrage n° 8 parmi 60 possibles

Les résultats des déplacements simulés atteignent un très bon niveau de ressemblance spatiale et hiérarchique (score de 130 à 140 sur 200), tout en respectant le volume réel de déplacements observés, ainsi que la polarisation des nœuds du graphe et le volume d'usagers circulant sur l'espace parisien. En revanche, le simulateur a tendance à sous-estimer le volume de communication de tweets émis. Cela montre que la communication des usagers comporte une part d'aléatoire. Il n'y a pas de relation linéaire simple entre le volume d'usagers et le volume de tweets émis. De même, du point de vue du choix de la destination des usagers, le critère spatial est incontournable pour le déplacement : si on laisse agir le hasard dans le choix de la destination, on parvient au maximum à reproduire 20% des déplacements réels. Les simulations apportent un meilleur résultat si on intègre le poids de l'espace dans la mobilité sur deux plans. Sur un premier plan, il faut mobiliser des catégorisations d'usagers intégrant une préférence spatiale dans leurs comportements de mobilité. Sur un second plan, il faut aussi mobiliser pour le choix de la destination de l'usager des attracteurs territoriaux. Ces attracteurs territoriaux peuvent être : soit la préférence de l'usager pour un grand secteur parisien – Nord, Sud, Est, Ouest, Centre – ; soit la préférence de l'usager à rejoindre un nœud ayant un pouvoir de concentration des mouvements observés plus ou moins important ; soit la préférence de l'usager à aller vers un cluster spécifique de Paris ; soit la préférence de l'usager à se diriger vers une maille spécifique de l'espace parisien (une maille à forte capacité de remplissage aura davantage de chance d'être choisie parmi les 340 mailles de 600 mètres de côté dans Paris). Enfin, la distance maximale généralement parcourue par un usager dans Paris est aussi un des critères spatiaux qui renforcent la réussite de la simulation des mobilités pour une semaine donnée. Parmi ces différents critères spatiaux, celui de la capacité d'accueil de chaque maille apporte les meilleurs résultats (forte ressemblance entre la semaine simulée et la semaine réelle), ce que montre le paramétrage n°8 parmi les 60 possibles pour simuler les mobilités.

### **Livrables**

Du côté du CETAPS, il était prévu deux types de livrables : 3 publications (1 dans chaque activité sportive présentée) et des algorithmes de calcul et modélisation sous Python et Matlab en open access.

A ce jour, à la vue des livrables détaillés pour chaque activité sportive, les objectifs annoncés ont été tenus, voire dépassés, ceci grâce à l'obtention de co-financement au GRR en termes de moyens humains (contrat doctoral MESR, bourse CIFRE, financement INSEP).

Le travail en natation représente les thèses de Brice Guignard et David Simbana et a donné lieu à 7 publications et à 3 présentations dans des congrès internationaux :

- 1) Guignard B., Rouard A., Chollet D., Bonifazi M., Vedova DD., Hart J., Seifert L. (accepté) Coordination dynamics of upper limbs in swimming: Effects of speed and fluid flow manipulation. *Research Quarterly for Exercise in Sport*
- 2) Guignard B., Rouard A., Chollet D., Seifert L. (2017). The effects of fluid flow manipulation on intersegmental upper limbs coordination in swimming. *Human Movement Science*. 55, 240–254
- 3) Guignard B., Rouard A., Chollet D., Seifert L. (2019). Effect of velocity on arm-leg coordination dynamics in frontcrawl swimming *Motor Control*, 3:1-25,

- doi: 10.1123/mc.2018-0026.
- 4) Guignard B., Rouard A., Chollet D., Seifert L. (2017). Behavioral dynamics in swimming: the appropriate use of inertial measurement units. *Frontiers in Psychology*. 8:383. doi: 10.3389/fpsyg.2017.00383 **IF : 2.6**
  - 5) Guignard B., Rouard A., Chollet D., Hart J., Davids K. Seifert L. (2017). Individual–Environment Interactions in Swimming: The Smallest Unit for Analysing the Emergence of Coordination Dynamics in Performance? *Sports Medicine*. doi: 10.1007/s40279-017-0684-4. **IF : 5.24**
  - 6) Simbaña-Escobar D., Hellard P., Seifert L. (2018). Modelling stroking parameters in competitive sprint swimming: understanding inter- and intra-lap variability to assess pacing management. *Human Movement Science*. 61, 219-230. **IF : 2.1**
  - 7) Simbaña-Escobar D., Hellard P., Pyne D., Seifert L. (2018). Functional role of movement and performance variability: Adaptation of front crawl swimmers to competitive swimming constraints. *Journal of Applied Biomechanics*. 34, 1:53-64. doi: 10.1123/jab.2017-0022. **IF : 1.31**
  - 8) Guignard B., Ayad O., Rouard A., Chollet D., Seifert L. (2015). Rhythms of upper-lower limbs in front crawl swimming in relation to environment and task constraints: An exploratory study. *16<sup>th</sup> International Congress of ACAPS*. University of Nantes, France: Nantes. p. 672-673.
  - 9) Guignard B., Rouard A., Chollet D., Seifert L. (2016). The effect(s) of fluid flow manipulation on upper limb coordination in swimming. *14<sup>th</sup> European Workshop on Ecological Psychology (EWEP)*. University of Groningen, the Netherlands: Groningen. p. 21.
  - 10) Guignard B., Rouard A., Chollet D., Seifert L. (2017). Upper-to-lower limb coordination in front crawl swimming: impacts of task and environmental constraints. *International Congress of Complex Systems in Sports*. Catalonia National Institute of Physical Education: Barcelona, Spain

Ce travail a également donné lieu à 11 conférences invitées et à l'organisation de 2 Symposium à l'European Workshop of Ecological Psychology (EWEP):

Seifert L. (2019). From research to coaching : Performance analysis and issues for training and learning. *XV Congress Iberic of Swimming (APTN)*, Portimao, Portugal, 26-28th April

Seifert L. (2019). The functional role of movement coordination variability : How degenerate neurobiological systems are able to exploit system stability and flexibility in their movement coordination ? *8th meeting of Expertise and Skill Acquisition Network (ESAN)*, St Mary's University, Twickenham, London, 1-2 May

Seifert L. (2019). Exploration, affordances & creativity. *8th meeting of Expertise and Skill Acquisition Network (ESAN)*, St Mary's University, Twickenham, London, 1-2 May

Seifert L. (2019). Motor coordination in swimming in relation with performance, expertise, learning and efficiency. *XVIII Congress of Biomechanics in Brazil*. Manaus, Brazil, 1-4 May

Seifert L. (2019). Key ecological dynamics concepts. Lecture at *University of Amazonia*, Manaus, Brazil, 6th May

Seifert L. (2019). Key principles for learning evaluation design and process. Lecture at *University of Amazonia*, Manaus, Brazil, 6th May

- Seifert L. (2018). An ecological dynamics framework to motor coordination and learning in swimming: Toward a nonlinear pedagogy. *The IXth International Symposium Science and Swimming*, Wroclaw, Poland, 24-25th May.
- Seifert L. (2018). Motor learning in climbing and swimming: A complex system approach. Lecture at *University of Algarve, School of Education & Communication*, Faro, Portugal, 23th April.
- Seifert L. (2018). Applying Ecological Dynamics framework to teaching and coaching. Lecture at *University of Algarve, School of Education & Communication*, Faro, Portugal, 26th April.
- Seifert L. (2018). Toward nested affordances perception. Lecture at *Sheffield Hallam University*, UK, 13<sup>th</sup> March.
- Seifert L. (2018). Landscape of affordances enrichment. Lecture at *Institute of Cognitive Sciences and Technologies, National Research Council*, Rome, Italy, 19<sup>th</sup> March.
- Seifert L. (2018). The functional role of movement coordination variability. *15<sup>th</sup> European Workshop of Ecological Psychology (EWEP)*, 12-15<sup>th</sup> June, Toulouse, France
- Seifert L. (2018). Exploration, affordances and creativity. *15<sup>th</sup> European Workshop of Ecological Psychology (EWEP)*, 12-15<sup>th</sup> June, Toulouse, France

Enfin ce travail a donné lieu à 3 algorithmes sous Matlab en open access sur le site de l'e-lab (laboratoire dématérialisé) Ecological Dynamics & Sport Performance ; acronym : « e-ecod » (<http://eecod2014.wix.com/e-ecod>) qui a pour but de créer une plateforme internationale d'échange de ressources (e.g., données, publications, algorithme & software, équipement) sur la thématique des systèmes complexes en relation avec les habiletés perceptivo-motrices dans les activités physiques et sportives. Cet e-lab fait parti d'un réseau d'e-lab et e-department dont le programme UniTwin Digital Campus & Complex System (DC & SC) est soutenu par l'UNESCO (<http://unitwin-cs.org>):

- 1) Vector coding pour évaluer la nature du couplage articulaire ;
- 2) Calcul du rapport de fréquence propre entre oscillateur jambes et bras ;
- 3) Détection des phases d'un cycle de bras (Figure 4).

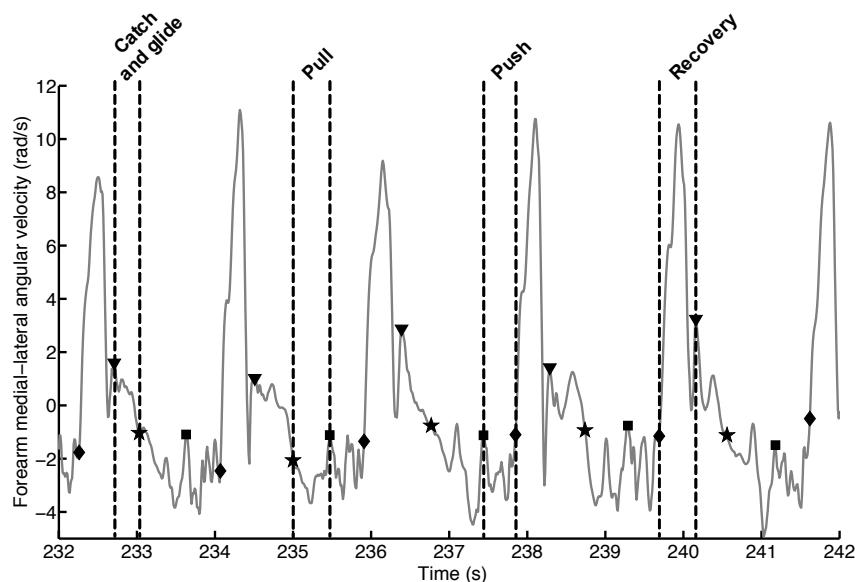


Figure 7. Détection des points clés permettant de délimiter les 4 phases d'un cycle de bras en crawl (glisse, traction, poussée, retour).

Le travail en hockey sur glace représente la thèse de Florian Mell et a donné lieu à 1 publication et 1 présentation dans un congrès international:

- 1) Mell F., Saury J., Féliu F., L'Hermette M., Seifert L. (2017). What does questioning of expert coaches reveal about forward ice hockey skating biomechanical knowledge? *International Journal of Sport Science & Coaching*. 12, 4, 461–469. doi: 10.1177/1747954117718076
- 2) Mell F., Saury J., Féliu F., L'Hermette M., Seifert L. (2015). Forward ice hockey: which kinematics parameters are relevant for coaches? *14<sup>th</sup> European Congress of Sport Psychology*, 14-19 Juillet, Berne, Suisse.

Le travail en trail-running représente la thèse de Nadège Rochat (dirigé par Seifert L. et Hauw D. en cotuelle) et a donné lieu à 4 publications concernant les différents moyens d'hydratation en trail-running, l'organisation d'un sysmposium (comprenant 3 communications) dans un congrès international, et communications dasn des congrès :

- 1) Rochat N., Seifert, L., Guignard B., Hauw D. (accepté). An enactive approach to appropriation in the instrumented activity of trail running. *Cognitive Processing*
- 2) Rochat N., Hauw D., Gür G., Seifert L. (2018). Understanding trail runners' activity on online community forums: An inductive analysis of discussion topics. *Journal of Human Kinetics*, 61, 263-276. doi: 10.1515/hukin-2017-0125
- 3) Rochat N., Hauw D., Seifert, L. (2018). Enactments and design of trail running equipment: an example of carrying systems. *Applied Ergonomics*. pii: S0003-6870(18)30190-X. doi: 10.1016/j.apergo.2018.07.002 IF :
- 4) Rochat, N., Hauw, D., Antonini Philippe, R., Crettaz von Roten, F., & Seifert, L. (2017). Comparison of vitality states of finishers and withdrawers in trail running: An enactive and phenomenological perspective. *PLOS ONE*, 12(3), e0173667. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173667>

Organisation du symposium « Psychological analysis of trail and ultra trail running races using a situated activity research program » coordonné par D. Hauw lors du *14<sup>th</sup> European Congress of Sport Psychology*: 3 communications :

- 1) Hauw D. (2015). Psychological analysis of trail and ultra trail running races using a situated activity research program. *14<sup>th</sup> European Congress of Sport Psychology*, 14-19 Juillet, Berne, Suisse.
- 2) Seifert L. (2015). Behavioural dynamics in trail running: interaction between individual and equipment. *14<sup>th</sup> European Congress of Sport Psychology*, 14-19 Juillet, Berne, Suisse.
- 3) Rochat N., Seifert L., Hauw D. (2015). Analysis of the activity of Raidlight community trail runners based on their blog posts and forums discussions contents. *14<sup>th</sup> European Congress of Sport Psychology*, 14-19 Juillet, Berne, Suisse.

Communications dans des congrès :

Rochat, N., Hauw, D., & Seifert, L. (2016, février.). How does equipment impact on trail-runners' activity? A situated analysis of trail-runners' experience of running with carrying systems. Communication présentée au Colloque National de la Société Suisse des Sciences du Sport, Berne, CH.

## Bibliographie

Chang, R., van Emmerik, R., Hamill, J., 2008. Quantifying rearfoot–forefoot

- coordination in human walking. *J. Biomech.* 41, 3101–3105.  
 Needham, R., Naemi, R., Chockalingam, N., 2014. Quantifying lumbar–pelvis coordination during gait using a modified vector coding technique. *J. Biomech.* 47, 1020–1026.

#### **Livrables du côté du IDEES – période 2015-2016**

- *Soutenance de thèse* de Lény Grassot le 21 octobre 2016, intitulée : « *Mobilités évènementielles et espace urbain* », université de Rouen, école doctorale 556 HSRT
- Publications d’articles:
  - Elissalde B., 2015, Coordination d’un Numéro special – Revue *L’information géographique* :
  - Elissalde B., 2015 « Temporalités de l’espace géographique ». Revue *L’Information géographique*, vol.79, juin 2015.
  - Lucchini F., 2015, Temporalités et rythmes urbains : les interpretations géographiques du temps et les espaces urbains. Revue *L’Information géographique*, vol 79, juin 2015, 28-40.
  - Lucchini F, Elissalde B, Grassot L, Baudry J, 2015, Mobile phone use, events and emerging phenomena. Proceedings of the European Colloquium on Theoretical and Quantitative Geography, Bari, Italy.
  - Elissalde B., Lucchini F., 2016, Coordination d’un Numéro spécial – Revue Netcom (référencée par l’Union Géographique Internationale):
  - Elissalde B., Lucchini F., guest editors, 2016 « *Réseaux sociaux et recherche géographique* ».
  - Lucchini F, Elissalde B, Grassot L, Baudry J, 2016, « Paris tweets, Données numériques géolocalisées et évènements urbains », Revue Netcom.
  - Lucchini F., Elissalde B., Gillet O., Baudry J., Grassot L., *Social networks, events and cities*. Proceedings of The European Colloquium on Theoretical and Quantitative Geography, 7-11 September 2017, York, UK.
- Communications scientifiques et valorisations grand public :
  - Conférence au Festival International de Géographie (30 septembre au 2 octobre 2016) : B. Elissalde, F Lucchini, conférence intitulée « *Révolution numérique et interactions socio-spatiales* » le 1er octobre 2016 à Saint-Dié des Vosges.
  - Collège International des Sciences du Territoire CIST, Séminaire Médias sociaux et métropoles :
    - Conférence 1- B Elissalde, F Lucchini, L Grassot, 18 novembre 2016, « Données géolocalisées et évènements urbains » ;
    - Conférence 2- F Lucchini, L Grassot, 18 novembre 2016, « Pulsations urbaines et tweets », Atelier de manipulations de données sous R.

#### **Livrables du côté du IDEES – période 2016-2017**

- Elaboration d'une plateforme de visualisation dynamique et interactive des données de mobilités urbaines à partir de données géolocalisées du réseau social Twitter transformées en graphes dynamiques : la visualisation des mobilités à la journée, à la semaine et au mois est possible sur les années 2015, 2016 et 2017. Cette application interactive est publiée sur HumaNum, la TGIR Humanités numériques à l'adresse suivante :

#### Application 1

<https://analytics.huma-num.fr/UMR IDEES/XTERM TCA SOCIAL NETWORK/>

- Publications d'articles:  
-Lucchini F., Elissalde B., Gillet O., Baudry J., Grassot L., *Social networks, events and cities*. Proceedings of The European Colloquium on Theoretical and Quantitative Geography, 7-11 September 2017, York, UK.
- Communications scientifiques et valorisations grand public :  
-Lucchini F., Gillet O., Elissalde B., Grassot L., Baudry J., 2017: Social networks, events and cities, The European Colloquium on Theoretical and Quantitative Geography, 7 au 11 septembre 2017, University of Leeds, York (UK) [Communication Orale]

#### Livrables du côté du IDEES – période 2017-2018

- Elaboration d'une seconde plateforme de visualisation dynamique et interactive pour la comparaison des graphes de mobilités. Cette application interactive est publiée sur la TGIR Humanités numériques à l'adresse suivante :

#### Application 2

<https://analytics.huma-num.fr/UMR IDEES/XTERM TVG SOCIAL NETWORK/>

- Elaboration d'une plate-forme de simulation adaptée aux données issues des réseaux sociaux, SiLPE 2 (développement en cours sur 2018, poursuite en 2019).

#### Application 3

<https://analytics.huma-num.fr/UMR IDEES/XTERM SIMULATION SOCIAL NETWORK/>

- Elaboration d'une plate-forme de visualisation des mobilités des usagers circulant sur un environnement urbain à partir des données de la téléphonie mobile.

#### Application 4

Développement en cours en 2019

- Publications d'articles:

-Lucchini F., Elissalde B., Gillet O., Baudry J., Grassot L., *Des graphes dynamiques pour décrypter la mobilité des usagers de Twitter*, Proceedings of Spatial Analysis and GEOMatics, 6-9 november 2017, Rouen, FR

-Lucchini F, Elissalde B, Gillet O, Grassot L, Baudry J, Couillet A, *La mobilité parisienne des usagers de Twitter*. Proceedings of CIST 2018 (*Representing territories*), 22-23 march 2018, Rouen, FR.

- Articles soumis et acceptés

Articles soumis en juillet 2018, revue Mappemonde :

Lucchini F, Gillet O, Elissalde B, Grassot L, Baudry J, Couillet A, Rey S, *Objets connectés et mobilité urbaine : visualiser la mobilité urbaine des usagers de Twitter par les graphes dynamiques*. Revue Mappemonde.

Articles soumis en janvier 2019, revue Les Cahiers scientifiques du Transport AFITL/ASDRLF :

Lucchini F, Gillet O, Elissalde B, Grassot L, Baudry J, Couillet A, *Réalisation d'un outil de simulation des mobilités urbaines à partir des données Twitter*. Revue Les Cahiers scientifiques du Transport.

- Communications scientifiques réalisées en 2017-2018

-Lucchini F., Gillet O., Elissalde B., Grassot L., Baudry J., 2017 : Des graphes dynamiques pour décrypter la mobilité des usagers de Twitter, Spatial Analysis and GEOMatics, 6 au 9 novembre 2017, Rouen Normandie University, Rouen (FR) [Communication Orale]

-Coordination d'une session spéciale de colloque international CIST 2018 à Rouen « Données du web et représentations territoriales » : <https://cist2018.sciencesconf.org/resource/page/id/9>; Co-porteur.e.s : Marta SEVERO (Dicen IDF), Pierre BECKOCHE (LADYSS), Bernard ELISSALDE (IDEES), Marianne GUÉROIS (Géographie-cités), Françoise LUCCHINI (IDEES) & Malika MADELIN (PRODIG)

-Lucchini F, Elissalde B, Gillet O, Grassot L, Baudry J, Couillet A, *La mobilité parisienne des usagers de Twitter*. Proceedings of CIST 2018 (*Representing territories*), 22-23 march 2018, Rouen, FR.

- Lucchini F, Elissalde B, Gillet O, Grassot L, Baudry J, Couillet A, *Traduire la ville éphémère en graphes dynamiques : la mobilité parisienne des usages de Twitter*. Actes des 1ères Rencontres Francophones Transport Mobilité (RFTM), 6-8 Juin 2018, Lyon, FR.

- Lucchini F, Elissalde B, Gillet O, 2018, « Objets connectés, évènements, et mobilité urbaine », Communication à la 2e Rencontre scientifique et d'innovation « Territoires de demain », CCI Seine Estuaire Le Havre, 29 nov. 2018.

## Livrables du côté du IDEES – période 2018-2019

- Publications d'articles:

-Lucchini F, Gillet O, Elissalde B, Grassot L, Baudry J, Couillet A, Rey S, 2019 accepté, *Objets connectés et mobilité urbaine : visualiser la mobilité urbaine des usagers de Twitter par les graphes dynamiques. Revue Mappemonde.*

- Article accepté avec modification :

-Lucchini F, Gillet O, Elissalde B, Grassot L, Baudry J, Couillet A, *Réalisation d'un outil de simulation des mobilités urbaines à partir des données Twitter. Revue Les Cahiers scientifiques du Transport.*

- Communications scientifiques réalisées en 2019

- Lucchini F, Gillet O, Elissalde B, Grassot L, Baudry J, Couillet A, « Variations de stocks et variations de flux : deux compréhensions de la mobilité appréhendée par les données de téléphonie mobile », 2e Rencontres Francophones Transport Mobilité RFTM Montréal, 11-13 Juin 2019.

- Lucchini F., Gillet O., Elissalde B., Grassot L., Baudry J, Couillet A., 2019, Deux méthodologies pour analyser les mobilités à partir des données de téléphonie mobile, Colloque international XTerM2019 systèmes compleXes, intelligence Territoriale et Mobilité, Le Havre, 27 juin 2019

- Consolidation en 2019 de l'Application de simulation adaptée aux données issues des réseaux:

### Application 3

[https://analytics.huma-num.fr/UMR\\_IDEES/XTERM\\_SIMULATION\\_SOCIAL\\_NETWORK/](https://analytics.huma-num.fr/UMR_IDEES/XTERM_SIMULATION_SOCIAL_NETWORK/)

- Démarrage en 2019 d'une application de visualisation des mobilités à l'aide des données de la téléphonie mobile sous R Shiny

Début du développement en 2019 dans le programme XTERM. Le développement de l'application se poursuit au sein du programme RIN MT2PM Modélisation des Trajectoires des Mobilités terrestres des passagers maritimes.

## **6.4 Action 3. Modèle de développement des territoires, face aux enjeux environnementaux**

---

### ***6.4.1 Descriptif***

#### **Coordonnateur :**

Patricia Sajous

#### **Objectif :**

Il s'agit dans l'action 3 d'une part, d'identifier les thématiques porteuses dans le champ de l'évolution urbaine pour des solutions aux problématiques environnementales en matière de mobilité intégrant la modélisation par systèmes complexes et d'autre part, de rendre sensible la modélisation à la dynamique de ce sujet en très forte évolution.

**Mot-clés** : Ecomobilité, Législation, Aménagement de l'espace, Modélisation, France

### ***6.4.2 Participants et ressources humaines***

#### **Laboratoires :**

- IDEES (UMR 6266), Normandie Université, Université Le Havre Normandie
- IDIT, Rouen
- CUREJ (EA 4703), Université de Rouen
- Institut DEMOLOMBE (EA 967), Normandie Université, Université de Caen
- *LITIS, Université du Havre – Normandie*
- *LMAH, Université du Havre – Normandie*

#### **Personnels permanents :**

- Valérie Bailly-Hascoet, IDIT
- Stefan Balev, LITIS Le Havre
- Cyrille Bertelle, LITIS Le Havre
- Amendine Cayol, Institut DEMOLOMBE, Caen
- Nathalie Corson, LMAH Le Havre
- Ludovic Couturier, IDIT
- Bruno Lecoquierre, IDEES Le Havre
- Cécile Legros, IDIT et CUREJ
- Patricia Sajous, IDEES Le Havre

#### **Collaborateurs extérieurs :**

#### **Doctorants :**

- Thibaut LANGLOIS, doctorant, « *Expansion urbaine et développement durable. Le cas des quartiers nord du Havre* » sous la direction de Bruno Lecoquierre (Directeur de thèse) et Patricia Sajous (co-encadrante).

#### **Personnel contractuel :**

- Paul Salze, IGR (novembre 2017 à juillet 2018 puis en financement en mode collaboratif avec l'action 1, de août 2018 à septembre 2019)

#### 6.4.3 Restitution des études menées

##### WP1 – Synthèse – Etat des lieux – Réseaux d'acteurs

01/10/2015 – 01/03/2016

Livrable : Rapport d'étape *joint en annexe du présent rapport*

■ Etude du processus de décision des acteurs : Le WP1 s'est appuyé sur les résultats de la phase de préfiguration et la remise d'un rapport à la région Haute-Normandie qui traitait plus spécifiquement de l'électromobilité (« *Les acteurs de l'écomobilité ACT'ECOMOB* », janvier 2016, cf. Livrable WP1).

Le travail a été poursuivi et orienté vers la constitution de connaissances pour les autres types d'écomobilité étudiés et retenus au regard des documents officiels en matière de transition énergétique.

■ Récupération des données : Recherche et catégorisation des données par thème sous la forme de neuf fiches qui abordent à la fois les aspects réglementaires et aménagement (contextualisation, résultats d'enquêtes) :

- 1°) Socle réglementaire commun
- 2°) Autopartage
- 3°) Covoiturage
- 4°) Electromobilité
- 5°) Intermodalité & report modal
- 6°) Circulation
- 7°) Mobilité / Immobilité connectée (TIC)
- 8°) Mobilité / Immobilité connectée (télétravail)
- 9°) Profil usagers

Ces données sont constituées à partir de :

- Données juridiques : Encadrement réglementaire des différentes formes d'écomobilité :
  - les objectifs internationaux, européens et nationaux en matière de lutte contre les émissions de GES par les transports
  - les stratégies mises en place pour atteindre ces objectifs (directives européennes, plans / feuilles de route / stratégies nationales)
  - les dispositifs réglementaires destinés à développer l'écomobilité (incitations fiscales, financements publics via les appels à projets, schémas régionaux, outils d'aménagement, ...)
  - les résultats des dispositifs réglementaires lorsqu'ils sont disponibles ; les améliorations possibles
- Données « acteurs et actions » : Recensement des acteurs publics/privés jouant un rôle dans le développement de l'écomobilité, motivations et interaction des acteurs, recensement des actions menées (en cours)
- Etudes de cas :

- Etude de l'introduction de l'électromobilité en région Haute-Normandie : inventaire réglementaire, identification acteurs, entretiens, workshop (étude ACT'ECOMOB, 2015, IDEES, IDIT, CUREJ, Institut DELALOMBE)
- Etude de l'introduction de l'électromobilité dans une entreprise : SAFRAN-NACELLES (P. SAJOUS)
- Etude sur la diversité des profils de déplacements :
- Etude du cas automobile (P. SAJOUS) : Le savoir-faire peut être analysé avec une grille de lecture fine à laquelle on a ajouté avec le scénario de crise environnementale la connaissance du su/connu/vécu pour l'adaptation ;
- Etude TIC et programme de mobilité en périurbain : communautés de communes de la Brie Boisée, de Carnelle-Pays de France et de la Haute Vallée de Chevreuse (P. SAJOUS) : Relativiser les relations entre mobilité physique et virtuelle. Les TIC ne viennent pas araser mais ont à se faire une place au milieu d'autres façons de pratiquer et de connaître le territoire (histoire personnelle, groupes auxquels on appartient, médias, moyens de parcourir l'espace, etc.)
- Etude sur la diversité des profils de déplacements des usagers : Etude sur le territoire de la CODAH du comportement de l'usager vis-à-vis des réseaux de transport en commun (P. SAJOUS).

**Sur la période septembre 2015 à janvier 2016, le travail du WP2 « Développement du protocole et de l'outil de modélisation » depuis son démarrage donne lieu à un travail ponctué par une réunion tous les deux mois qui met en commun le travail effectué dans ce laps de temps.**

Les comptes-rendus de ces réunions sont reportés à la suite. Ils donnent :

- 1) un état synthétique des travaux effectués par les membres Xterm action mobilisés par cette phase du projet
- 2) la discussion à laquelle cela donne lieu en réunion tous les deux mois
- 3) les actions engagées jusqu'à la réunion suivante.

D'un point de vue scientifique, sur les six premiers mois écoulés, nous avons identifié trois grands axes de chantiers ouverts.

- 1) Une nécessaire discussion de fond sur les parages des concepts (réseau technique, territoire, modélisation) et des connaissances sur les approches disciplinaires
- 2) La phase de construction théorique du modèle
- 3) la poursuite du recueil d'informations à travers une veille réglementaire continue et la poursuite de la passation et du traitement d'enquête notamment concernant le télétravail.

Il est à noter que l'avancée des travaux est conforme à la progression envisagée dans le dossier de candidature pour l'action 3 XTerM.

## Compte-rendu XterM, action 3 du 16 septembre 2016

Ordre du jour :

- Etat de l'art des modèles
- Information et discussion à partir du document « TERRITOIRE À ÉNERGIE POSITIVE POUR LA CROISSANCE VERTE, MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT DE L'ÉNERGIE ET DE LA MER, Stratégie de développement de la mobilité propre, Document préparatoire, juin 2016
- Rédaction du 1° livrable (en particulier le cahier des charges), contribution au rapport global

- Exposé de l'état de l'art en matière de modélisation :

On peut constituer une classification des modèles au regard des échanges lors de la réunion du 5 juillet et par rapport aux objectifs de cette action d'XterM.

En retenant l'idée émise le 5 juillet où un modèle conceptuel est mis en œuvre dans un premier temps, il s'agit de travailler à une bonne formalisation de ce dernier. C'est une grande partie du travail.

On peut se tourner vers différents types de modélisation :

- Modélisation autour des activités quotidiennes (mobilité) des individus : modèles souvent mis en œuvre dans le courant de time-géographie
  - Modélisation autour des services proposés dans les villes : comment les personnes s'approprient les services et réseaux. Ce sont des modèles permettant de renseigner sur l'attraction et l'appropriation des services et réseaux.
  - Modélisation autour de l'analyse de réseau routier pour montrer l'efficacité, les enjeux environnementaux. Stefan Balev présente l'exemple d'un travail mené avec des étudiants sur l'arrivée du tramway au Havre.
- Par rapport à cette classification il reste une inconnue sur des modèles ayant déjà intégré des législations, modèles qui, s'ils existent, n'ont pas encore été repérés.

Cette classification, a donné lieu à une première formalisation d'un modèle qui répondrait à la question suivante :

Comment l'application d'une législation qui va impacter le territoire, va agir sur le choix de la modalité de transport de l'individu ?

Le travail est mené en groupe à partir d'une schématisation commentée sur paper-board.

In fine, on évalue l'efficacité dans le choix des modes de transports de l'individu.

A partir de cette formalisation, Patricia Sajous confronte une formalisation qu'elle avait rédigée :

- partir plutôt sur le principe du modèle – outil en Aménagement

Enonciation générale :

Soit un périmètre administratif X. D'après un diagnostic établi à partir

- du profil réglementaire auquel il répond du point de vue de l'écomobilité (rural, périurbain, agglomération...)

- de sa structure morphologique (bâti, voies et un ensemble de réseaux (électrique, TC...)
- du profil de la population résidente et « travaillante »,

Le modèle peut produire de l'information (sous forme graphique et / ou textuelle, en tout cas sous forme accessible pour l'usager) sur les points suivants :

- qu'est-ce qui s'impose du point de vue de la loi dans cet espace ?
  - estimer sa participation aux objectifs de réduction de GES
- Il nous semble que ces deux niveaux d'informations sont deux déclinaisons d'une question globale : quelles évolutions sont induites, pour un périmètre X, dans le cadre de la mise en place d'une écomobilité en vue du développement d'une mobilité propre ?

La discussion autour des deux formalisations donne lieu à une autre session paper-board qui acte 4 questions au cœur de la modélisation :

- Qu'est-ce qui s'impose du point de vue de la loi dans cet espace ? Vérification de la conformité aux textes. C'est une information qui nourrit le modèle et qui pourra aussi mettre à disposition des collectivités territoriales
- Comment le territoire se situe par rapport aux objectifs de réduction de GES ?
- A quoi peuvent s'attendre les décideurs par rapport aux comportements des individus au regard de l'environnement juridique qui se met en place ?
- Les jeux sérieux pourraient-ils être une déclinaison des résultats comme support d'aide à la sensibilisation ?

L'idée pour développer cette base est de la mener entre conceptualisation et opérationnalité. C'est pourquoi, le LITIS poursuivra le travail de conceptualisation pendant que l'IDIT et IDEES s'attacheront à constituer un groupe à l'image d'un comité de pilotage qui permettra à l'équipe de confronter la conceptualisation à la réalité afin de la compléter.

La réunion se termine à 12h20, les actions à mener décidées :

- LITIS : travail sur le modèle conceptuel, la poursuite de l'état de l'art se fait en même temps et sera intégré en information à la conceptualisation
- IDIT / IDEES : constitution du Comité pilotage
- le document « TERRITOIRE À ÉNERGIE POSITIVE POUR LA CROISSANCE VERTE, MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT DE L'ÉNERGIE ET DE LA MER, Stratégie de développement de la mobilité propre, Document préparatoire, juin 2016 n'a été que peu abordé en séance. Il est convenu que les notes prises par P. Sajous et V. Bailly Hascoet seront diffusées à tous et que la réunion suivante pourra revenir sur ce point.
- prochaine réunion : 04 novembre 2016, 13h

### Réunion 04 novembre 2016, Xterm action 3

Point informations :

- Lancement du WP2 : 18 mois avec IGR à partir de septembre 2017
- Acceptation de l'article sur l'électromobilité dans la revue RTS (IFSTTAR)

- En parallèle du travail sur le modèle conceptuel, savoir qu'est mené :
  - Une transcription puis un traitement d'analyse sur enquête Réseaux – CODAH
  - Une enquête sur le télétravail attend une dernière validation avant lancement de sa passation en partenariat avec SAFRAN Nacelles

Le modèle conceptuel :

- Reprise de la discussion à partir des questions établies lors de la réunion de septembre :
  - Qu'est-ce qui s'impose du point de vue de la loi dans cet espace ? Vérification de la conformité aux textes. C'est une information qui nourrit le modèle et qui pourra aussi mettre à disposition des collectivités territoriales. Cela ne constitue pas en soi une modélisation mais serait une information en aparté du travail de modélisation à livrer aux « décideurs / usagers » car c'est une demande sur le territoire.
  - Comment le territoire se situe par rapport aux objectifs de réduction de GES ?
  - A quoi peuvent s'attendre les décideurs par rapport aux comportements des individus au regard de l'environnement juridique qui se met en place ?
  - Les jeux sérieux pourraient-ils être une déclinaison des résultats comme support d'aide à la sensibilisation ?

La discussion aboutit à la représentation et à la hiérarchisation suivante des questions. Certaines sont plus au cœur du modèle que d'autres.

On constate que le modèle conceptuel va se scinder en deux avec une partie répondant à des intérêts en lien avec les décideurs et une autre partie plutôt sur les usagers. La question de l'information sur la réduction des GES sera traitée au regard / en association avec la question sur le comportement des individus.

Le comité de pilotage :

- changer de nom : comité d'experts, groupe de réflexion ? Appellation « groupe d'expertise » est retenue.
- se limiter à l'application à une collectivité territoriale puis durant le WP3, tenter une application sur une autre. Des liens semblent déjà établis avec la Ville du Havre et la CODAH.
- sur le WP3, envisager la constitution d'un groupe pour pratiquer le modèle dans sa dimension « Jeu sérieux » : Association d'usagers des transports, ADEME, etc
- réunir le groupe d'expertise durant le WP2 vers les mois de mars / avril, pour anticiper le passage du modèle conceptuel vers l'application et la rédaction de la fiche de poste (en conséquence) de l'IGR recruté

Cela amène également à anticiper une première formalisation du WP3 avec 4 évènements :

1. Se tourner vers un autre « espace test »

2. Faire un groupe de test pour la partie « jeu sérieux »
3. Une journée atelier – débat / valorisation
4. Bilan interdisciplinarité

Actions à entreprendre :

- prochaine réunion : 06 janvier, 12h30
- LITIS : échanges sur un premier stade du modèle conceptuel
- IDEES : retour sur participation au groupe d'expertise

### **Compte-Rendu Réunion Xterm Action 3, 13 janvier 2017**

#### 1- Tour de table sur avancement depuis la réunion de novembre

- a. P Sajous : passation en cours de l'enquête sur le télétravail chez Safran Nacelles, transcription enquête Habitants CODAH en cours, travail sur bibliographie et en particulier lecture très enrichissante du rapport ADEME « APPROCHE INTEGREE ET MULTICRITERES DE LA MODELISATION TERRITORIALE ELEMENTS DE CADRAGE POUR LA GESTION DES DONNEES TERRITORIALES », janvier 2016

Présence en tant que membre du comité scientifique au colloque "(R)évolution numérique et mobilité" du 08/11/2016. Réflexions entendues lors de la journée ne font que renforcer l'axe réflexif du projet XterM action 3 sur l'intégration du numérique dans les outils de la mobilité mais aussi le paradigme.

- b. T Langlois : retour sur participation au colloque « Les données urbaines : quelles pratiques ? quels savoirs ? » 12, 13 dec 2016, Lyon 2

Les enseignements :

- o Elus sont à la demande et à la recherche de modèles pour gérer les données dont sont détenteurs. La discussion a beaucoup porté durant le colloque sur la définition des données.
- o Pluridisciplinarité en la matière entre des chercheurs de sciences « dures » et sociales semblent, pour l'instant, difficiles.

Par ailleurs, passation de l'enquête du doctorat en cours dans les quartiers Nord du Havre. Les populations enquêtées sont variées.

- c. V Bailly-Hascoët et L. Couturier : poursuite de la veille réglementaire et actualisation des fiches sur l'espace de partage.

A cet égard, on constate une accélération de la mise en place du télétravail dans les administrations centrales et déconcentrées (adoptions de sept arrêtés depuis juillet 2016).

Par ailleurs, du fait de la survenance de plusieurs pics de pollution durant l'hiver 2016-2017, on constate une activation des outils réglementaires mis à la disposition des collectivités territoriales par la loi « transition énergétique » de 2015 : circulation alternée, zones de circulation restreinte, expérimentation de voies réservées aux covoitureurs.

Enfin, on constate une accélération de la mise en place du cadre réglementaire visant à développer l'électromobilité :

- o « *Cadre d'action national pour le développement des carburants alternatifs dans le secteur des transports et le déploiement des infrastructures correspondantes* » soumis à consultation publique ;

- adoption du décret n° 2017-26 du 12 janvier 2017 *relatif aux infrastructures de recharge pour véhicules électriques et portant diverses mesures de transposition de la directive 2014/94/UE* ;
  - Renouvellement du dispositif d'aide à l'acquisition de véhicules électriques par le décret n° 2016-1980 du 30 décembre 2016 *relatif aux aides à l'achat ou à la location des véhicules peu polluants*
  - adoption du décret n° 2017-21 du 11 janvier 2017 *relatif aux obligations d'achat ou d'utilisation de véhicules à faibles émissions par les gestionnaires de flottes de véhicules, les loueurs de véhicules automobiles, les exploitants de taxis et exploitants de voitures de transport avec chauffeur*
- d. C Bertelle et S Balev : travail sur modélisation présenté ci-après

## 2- Modélisation de l'écomobilité

L'équipe LITIS /LMAH propose une première formalisation sous power point.

Etat de l'art :

Original dans le cas de cette étude :

- de s'intéresser au jeu de la décision juridique et de son impact sur les territoires et les usagers
- de voir comment faire pour simuler des populations urbaines entières ?

Au début de la présentation, la question se pose de constituer une ontologie. Rien n'est décidé pour l'heure si ce n'est que les CR peuvent servir à faire mémoire des termes et expressions qui auront demandé un temps de définition spécifique.

1<sup>o</sup> terme : représentation = caractérisation, identification

2<sup>o</sup> terme : personnalité = niveau de diplôme, profession occupée, CSP

Le power point propose une première trame de la structuration du modèle. Il a été choisi selon un principe pragmatique de construire le modèle au regard des données disponibles et de le « nourrir » / enrichir au fur et à mesure que des ensembles de données pouvaient être trouvés.

Au terme de la présentation, il a été décidé que pour la prochaine réunion chaque membre de l'équipe doit reprendre le PowerPoint que Cyril Bertelle transformera en document word et doit

- Faire des propositions de précision de spécifications dans les différentes catégories
- Regarder dans son laboratoire, ses travaux, les données dont il / elle dispose et qui pourront être mis à disposition de la construction du modèle

## 3- Préparation de la réunion du 03 février

Une proposition de présentation sera faite au titre de l'action 3 dans le programme de la matinée et portera sur la notion de réseau. Il s'agira de s'intéresser à la polysémie du terme réseau vu depuis les sciences sociales.

La proposition sera portée par P. Sajous.

P. Sajous se charge également de faire une première trame pour la remontée de février de l'action 3.

Prochaine réunion : 3 mars 2017, 12h30 Brasserie

Elle portera majoritairement sur la poursuite du cadrage de la modélisation. A la suite de cela, il faudra déterminer :

- la convocation du groupe d'expertise dont on avait parlé en novembre
- la rédaction de la fiche de poste pour le recrutement de l'ingénieur

**Sur le semestre Février – Juillet 2017**, le travail au niveau de l'action 3 s'est poursuivi sur le même rythme de réunions. Cette période correspond au second semestre (sur les 3) consacré au WP2.

Les compte-rendus des réunions sont reportés ci-après. Ils restituent les orientations décidées en groupe mais aussi font état du travail d'avancement sur le WP2.

Au terme de la période, on se rend compte que comme prévu à l'origine du projet, la priorité a été donnée à la structuration d'un modèle tout d'abord théorique et global sur la gestion de l'écomobilité au niveau d'un territoire urbain. Dans la phase qui s'ouvre à partir de septembre 2017, l'idée est de prolonger ce travail en vue du développement du modèle non de façon globale mais à partir d'un scénario extrait de la Stratégie de développement de la mobilité propre (SDMP), laquelle a été prévue par la Loi de transition énergétique pour la croissance verte (LTECV 2015) et annexée en octobre 2016 par le Ministère de l'environnement à la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE). Ce document permettant de développer 5 scénarios au total, au fur et à mesure du développement est envisagé l'intégration d'autres scénarios.

Cette phase de structuration a demandé un travail interdisciplinaire intense afin que le modèle se nourrisse des apports de chaque scientifique participant à l'action 3.

Aussi, les juristes ont poursuivi leur mission de veille réglementaire et il faut noter que sur la période, d'importants documents stratégiques ont été adoptés., tels que le *Plan de réduction des émissions de polluants atmosphériques* (PREPA, mai 2017) adopté en application de la *Programmation pluriannuelle de l'énergie* (PPE) d'octobre 2016), le nouveau *Plan climat* (juillet 2017), ou bien encore le *Cadre d'action national pour le développement des carburants alternatifs dans le secteur des transports et le déploiement des infrastructures correspondantes* (CANCA, février 2017).

Il est notamment souligné qu'il est annoncé dans le Plan climat qu'au second semestre 2017 des «*Assises de la mobilités*» prépareront une loi mobilité et traiteront notamment de la tarification des usages de la route, de l'accès à la mobilité, du développement des mobilités douces et du covoiturage, et de la circulation en ville.

Coté Géographie-Aménagement, les chercheurs se sont employés à préparer (préparation toujours en cours) des données à l'échelle locale mais non disponibles sous forme statistiques (à l'échelle locale comme nationale) concernant les logiques, les comportements tenus face aux transports en commun comme également face au télétravail. Au-delà des informations descriptives sur ces deux thèmes, cela permet au niveau de l'équipe de porter la réflexion sur la prise en compte dans un modèle,

des comportements, point sensible et qui peut encore être amélioré selon l'état de l'art dans le développement des modèles portant sur la mobilité quotidienne.

### **Compte-Rendu Réunion Xterm Action 3, 03/03/2017**

7 présents

Tour de table :

- Annonce de 2 communications retenues au colloque smart territoire 2017, 22-24 mars 2017 à Cergy Pontoise :
  - 1 dans l'axe 3 concernant le projet XterM dans sa globalité
  - 1 dans l'axe 5 concernant les travaux sur l'écomobilité de l'action 3 du projet XterM
- La phase de passation d'enquête sur le télétravail est en voie d'achèvement avec 14 télétravailleurs enquêtés sur une population mère 17 chez Safran Nacelles

Ordre du Jour :

- 1-poursuite du cadrage de la modélisation à partir des éléments de la réunion du 13 janvier, augmentés dans la période
  - 2- proposition de nom et convocation du groupe d'expertise
  - 3- rédaction de la fiche de poste pour le recrutement de l'ingénieur
- 

Point 1 :

Travail à partir du document intitulé « VD03032017\_XTerM-action3-ecomobilité-modelisation\_AjoutsIDIT&IDEES » (à la suite du CR)

i. commentaires généraux autour des ajouts

Il faudra consulter le PLU du Havre pour voir les dispositions prises par la ville en matière d'environnement et de développement durable en particulier dans le PADD.

ii. Passage en revue de chaque catégorie pour voir ce qu'il faut modéliser pour chacune.

/ description du territoire :

- Topographie
- Limites administrative des communes de la CODAH
- réseaux de transports :

Terrestre route moteur : VP (routes, places de stationnement, avoir une idée de la disponibilité des places), bus (lignes, arrêts, fréquences)

Terrestre ferré : tramway (lignes, arrêts, fréquence), LER ((lignes, arrêts, fréquence), (lignes, arrêts, fréquence))

Modes doux : vélo (pistes)

- Equipement en faveur multimodalité : parc relais pour voiture et vélo (pour prendre tram, bus, train), covoiturage via Drakcar, implantations bornes électriques

/ description des individus

Attention, description sous-entend

- recherche données : voir catégorie des données agrégées, niveau de disponibilité le plus courant des données sur individus
- écriture de règles

/ description des populations agrégées

- enquête ménage déplacement via documents du PDU
- âge (majeur/mineur)
- détention permis de conduire
- parc automobile
- nombre d'abonnement TC
- sexe
- typologie ménages
- population active : CSP
- typologie logement occupés

/ description gestionnaires :

- se reporter au PLU concernant la ville du Havre
- nombre des entreprises de plus de 100 salariés

iii. L'écriture des scénarios

Il s'agit de déterminer par rapport aux objectifs généraux de la loi transition énergétique, les dimensions modélisables au niveau de la CODAH

Objectif 1 semble revenir à la mesure de la baisse du trafic.

Objectif 2 : idem

Plus généralement, la question des indicateurs des effets des scénarios est à aborder.

ex : satisfaction = rester dans le temps moyen de déplacement domicile-travail

Le modèle peut montrer des effets à court terme (en changeant une variable dans un des objectifs et ainsi voir les effets sur des paramètres déterminés). La discussion du jour laisse penser que des effets à plus long terme pourraient être travaillés en modulant des seuils d'augmentation des contraintes mais aussi modulant des gains de temps et d'argent pour réfléchir à l'attractivité des mesures.

Point 2 :

/ fichier de travail = avoir un retour des professionnels quant au choix des scénarios  
Cependant, cela demande préalablement que l'équipe info math débute un test sur un scénario.

C'est à partir de cela qu'il sera possible de convoquer le groupe expert.

Point 3 :

Il ressort des discussions du jour que l'IGR devra avoir un profil plutôt informatique avec une connaissance souhaitable des problématiques urbaines et environnementales.

Une des premières demandes portera sur le fait de construire des modèles de scénarios, autrement dit, faire le lien entre les scénarios et les valeurs de paramètres, l'environnement (modification réseau), les règles des environnements.

Prochaine réunion prévue le 28/04/2017 à 12h30

En vue de cette réunion, il s'agit pour l'équipe info-math de faire un draft de modèle avec un scénario.

Cela revient à caractériser le modèle sous forme de liste en

- créant les individus et en les caractérisant (chaque individu soumis à des règles à définir)
- définissant les modifications possibles et dans quelles mesures ces modifications vont impacter les caractéristiques des agents, les règles ou les environnements.

Le reste de l'équipe est en support.

### Réunion Action 3 Xterm 28 avril 2017

1- Informations :

\* achat livre ss dir. G. Dupuy, Villes, Réseaux et Transport. Le défi fractal, Economica, 2017

En particulier le chapitre de P. Frankhauser La modélisation fractale des tissus urbains. De l'analyse morphologique au concept d'aménagement et le commentaire du chapitre 3 par D. Pumain Les fractales doivent-elles guider l'aménagement urbain, les commentaires sur chap 5 et 6 de A. Banos La ville fractale comme issue à l'alternative ville compacte / ville étalée ? Et la conclusion de Dupuy cherchant à montrer qu'il faut utiliser l'outil fractal comme une néo-topie pour « relancer » les théories en aménagement de l'espace et urbanisme.

\* Amandine Cayol a fait savoir qu'elle souhaitait se retirer du projet. Il est convenu de prendre contact avec elle autrement que par mail.

\* Avancement des recherches

- Thèse Thibault Langlois : phase de terrain toujours en cours sur les entretiens, phase questionnaire terminée et début du traitement
- Traitement ALCESTE du corpus d'entretiens des habitants de la CODAH et en cours d'obtention d'un accord pour enquêter télétravailleur Safran Nacelles à Saclay
- participation au colloque
  - Pour action 3 : Tensions générées par l'électromobilité. Etude à partir du cas haut-normand Terri'2017 – Territoire intelligent : un modèle si smart ? 24 mars 2017, Université de Cergy-Pontoise
  - Pour présenter XTerM : Développer la complexité des analyses territoriales par une approche projet – FEDER XTerM en Normandie Terri'2017 – Territoire intelligent : un modèle si smart ? 24 mars 2017, Université de Cergy-Pontoise
- S'agissant de la question de la prise en compte par la Ville du Havre de l'environnement et du développement durable (cf. point 1.i de la réunion du 03/03), Valérie Bailly-Hascoët a rédigé une note sur « *La mobilité dans les documents d'urbanisme de l'agglomération havraise* » (27/04/2017). Cette note présente les éléments pertinents pour l'étude dans les différents documents d'urbanisme de l'agglomération havraise (SCoT, PDU, Plan mobilité durable 2013-2020, PLU, PADD).

## 2- Poursuite du travail de modélisation

Rappel de ce qui a été inscrit dans le CR du 03 mars 2017 :

Travail à partir du document « Modèle EcoMob-Multimod (EM3) » qui liste tous les éléments nécessaires à l'écriture du modèle en les répartissant entre les catégories Environnement, Modes, Individus. On obtient ainsi un Modèle global = environnement+modes+individus.

En le confrontant au document stratégique utilisé lors de la réunion du 03 mars 2017 :

- les éléments listés paraissent être au complet
- les scénarios covoiturage, auto-partage semblent plus centraux en termes de nécessité d'écriture par rapport à MAPA, télétravail.

La phase suivante consiste à écrire les articulations existantes entre les éléments listés. Une première présentation est envisagée à la prochaine réunion.

## 3- Recrutement

A partir des éléments fournis par Alain Takoulo, le remplissage du formulaire a débuté en réunion et se poursuit via Drive. Il est souhaitable que l'écriture soit achevée au 15 mai.

## 4- Groupe d'expertise

Sa convocation ne semble pas encore d'actualité. Il faut encore travailler sur le modèle pour lui donner une forme qui permette une communication et des échanges pertinents pour la recherche.

Aussi, sa composition n'est pas finalisée à ce stade.

## **CR 13 juillet 2017, Xterm action 3**

Ordre du jour :

- 1- recrutement
- 2- préparation de la participation à la journée de la rencontre de novembre 2017
- 3- avancées scientifiques

### 1- Poste au recrutement :

Infructueux au 20 juin :

- la fiche a été modifiée en parallèle de la demande de pouvoir recruter un IGR ou un IGE
  - nouvelle diffusion sur le moment même sur le site de l'université et dans les réseaux disciplinaires

2-Préparation participation Journée rencontre scientifique Xterm prévue en novembre

- Titre choisi pour l'atelier : « anticiper la mobilité durable »

- Texte descriptif :

La mobilité durable est un enjeu majeur de notre société. En suivant la dynamique actuelle, comment s'y préparer et l'encourager ? L'équipe interdisciplinaire (géographes- aménageurs, juristes, informaticiens, mathématicienne) de l'action 3 du projet Xterm mène une réflexion visant à permettre d'anticiper l'effet des mesures en faveur de la mobilité durable. Elle se propose de discuter au cours de cet atelier du développement d'outils de diagnostics et d'analyse en utilisant notamment la modélisation.

### 3- Avancées scientifiques depuis la dernière réunion

- / modèle : travail de vérification de la complétude des paramètres du modèle théorique par rapport aux divers axes de la politique de transition énergétique

Il faut à présent s'engager dans la rédaction en tant que tel d'un scénario pour chaque axe de cette politique

- / données :

- le cadre réglementaire continue d'être tenu à jour
- La phase de terrain de la thèse est en bonne voie d'achèvement.
- Les données sur le télétravail sont disponibles pour Safran Nacelles au Havre. Elles sont en cours de traitement et pourront alimenter le modèle en fonction des besoins des scénarios. Par ailleurs, les analyses de discours via le logiciel Alceste concernant le rapport des habitants de la Codah aux réseaux en général et aux réseaux de transports en communs en particulier, a donné lieu à 2 séances de mise en forme pour le traitement (16 & 30 mars 2017) suivies le 15 juin d'une première séance d'analyse. L'objectif de la collecte de ces résultats est le même que dans le cas du télétravail.

Enfin, les travaux concernant l'électromobilité ont été présentés lors du 1er workshop du projet MOUVE porté par l'université de Lille 1 (Elodie Castex) devant des enseignants-chercheurs du territoire français, repérés pour avoir tous un projet portant sur l'étude de l'électromobilité.

**Entre Août et Décembre 2017,** la réflexion autour de l'élaboration du modèle a été dominante. Les juristes et aménageurs ont été sur la période, plutôt en position d'accompagnement à la réflexion. C'est-à-dire que la poursuite de la veille juridique et de la constitution des données s'est faite à un rythme un peu moindre que les phases précédentes avec évocation de l'avancée de ces missions par mails « au fil de l'eau ». Les ordres du jour des réunions ont été consacrés à deux événements autour desquels s'est structuré le travail sur la période.

En premier lieu, l'arrivée de Paul Salze sur le poste d'IGR en novembre, comme les compte-rendus des réunions donnés ci-après l'indiquent, a permis de progresser dans l'établissement du cahier des charges grâce à la réalisation d'un état de l'art concernant les modèles de mobilité exhaustif. Cela a permis de différentes orientations à retenir pour le développement d'un modèle dans le cadre d'XTerm Action 3. Le pourvoi un peu tardif du poste sur le planning du WP explique que cette action tournée vers le modèle est dominée cette période du projet.

Par ailleurs, la journée « Territoire de demain » à travers l'atelier organisé par l'action 3 a été un premier temps de confrontation de l'idée centrale de l'action (constituer un modèle en écho à l'écomobilité prônée par la loi). C'est une anticipation du WP3 et cet événement est venu dans une bonne temporalité, où le

modèle n'est pas encore finalisé, pour tester la réception d'une telle solution chez les acteurs chargés dans les territoires de la question de la mobilité et de l'écomobilité.

### **CR 08 septembre 2017, Xterm action 3**

#### Ordre du jour

- 1- faire un point candidature (délai de réponse jusqu'au 30 sept)
- 2- faire un point d'avancement sur le modèle théorique
- 3- finaliser la liste des personnes à informer pour la journée de rencontres de novembre
- 4- faire une trame pour le déroulé de l'atelier de novembre

#### Informations préalables :

- rapport action 3 finalisé pour la remontée de septembre 2017
- un livrable sera à constituer en février 2018 car le WP2 selon les termes du dossier déposé au Feder sera clos.

Une structure pourra être discutée sur la fin de l'année.

#### 1 – Candidature IGE ou IGR

- => pas de candidature supplémentaire pour l'instant
- => relance obligatoire dans les réseaux et rediffusion de l'annonce fait en séance
- => recrutement jusqu'au 30/09 mentionné dans l'annonce
- => recrutement dans les réseaux étrangers possible

#### 2- avancement sur le modèle théorique :

- => Déroulement du scénario en attente

Cela doit prendre la forme d'un texte qui met en évidence les conséquences de chaque prise de décision, s'assurer que tous les paramètres nécessaires sont anticipés et toutes les variables pour mettre en application

=> Possible de le mettre sous forme plus communicative via scckechnote. Permet de faire le lien entre auteur, modélisateur et utilisateur.

=> Quelle décision à prendre privilégier dans le contexte réglementaire pour développer un premier scénario ?

NB : Pas forcément combiner d'emblée les décisions mais montrer qu'il y a un outil qui peut être en place pour plusieurs types de scénarios. Cela montre la modularité, plasticité de l'outil.

Décisions listées auxquelles répondre dans un contexte urbain du type du Havre :

- aires de covoitage
- vélo : parking vélo, pistes à créer
- zones restreintes de circulation
- voies réservées
- diffusion en dynamique de l'information
- réalisation des bornes électriques

- parkings multimodaux
- mesures incitatives et aides financières régionales

Travail sur un scénario pour la prochaine réunion avec un premier support fourni par Nathalie, Cyrille et Stefan.

4 - trame pour l'atelier pour la journée XTerM de novembre :

- => présentation des directives
- => montrer comment scénarios peuvent être développés
- => demander aux personnes quelles directives peuvent le plus les intéresser, leurs préoccupations en la matière

Trame encore sommaire car liée au développement des scénarios.

3 - liste des personnes à informer :

- NOVALOG : Christophe CHAUVIN
- Métropole Rouen Normandie : Florian DANTREUILLE (Service Action Economique) qui suivait le déploiement des bornes de recharge pour véhicules électriques, mais je ne le vois pas dans l'organigramme de la MRN. Sinon, il y a :
  - o Catherine GONIOT – Adjointe au DGA du Service Espaces publics et mobilité durable. Mais je doute qu'elle vienne.
  - o Bruno TISSERAND - Mobilité, exploitation des transports (Service Espaces publics et mobilité durable)
  - o Emmanuel SAUVAGE – Espaces publics, circulation, coordination (Service Espaces publics et mobilité durable). Il figurait en copie de certains des mails que nous avions échangés avec Florian DANTREUILLE
- ADEME – Jean-Marc GOHIER
- Pôle Mové'o
- Syndicat d'électrification de Seine-Maritime (SDE 76 qui installe les bornes publiques hors de la MRN ou de la CODHA) : Naouel KADRI (Technicienne Chargée des Travaux non Programmés) et/ou Xavier NEUVILLE (directeur adjoint)
- Institut de Recherche Technologique SYSTEM X – Charles KREMER
- Région Normandie :
  - o Claire COULIBALY - Chef du pôle des énergies renouvelables non liées à la biomasse - Service des énergies renouvelables - Direction de l'Energie, de l'Environnement et du Développement Durable (DEEDD) - Région Normandie  
- Tél. 02 31 06 98 27 - Claire.COULIBALY@normandie.fr
  - o Vincent BRETEAU - DGA Transports et Aménagement du Territoire. Il était auparavant à HAROPA.
  - o Vincent Rochelle (Service Infrastructures et études)
- CODAH et ville du Havre :
  - o service voirie
  - o service étude urbaine et prospective
  - o Adrien Verdière, Isabelle Karcher, CODAH
- Agence d'urbanisme Caen, Rouen, Le Havre
- arnaud.laubu@cerema.fr Dir de département Infra de Tr Multimodales

Actions :

- 27 octobre, prochaine réunion avec en ordre du jour :
- lecture collective scénario
- caler trame atelier PP : environnement réglementaire / philosophie du modèle / des applications du modèle / Discussions sur d'éventuelles autres applications / mesures qui intéressent les participants.

### **Compte-Rendu Réunion Xterm Action 3, 20/10/2017**

Ordre du jour :

- 1- Elaboration collective d'un scénario sur proposition de N. Corson, C. Bertelle et S. Balev
- 2 – Calage de la trame de l'atelier du 10/11/17 (durée 1h30) : environnement réglementaire / philosophie du modèle / des applications du modèle / Discussions sur d'éventuelles autres applications / mesures qui intéressent les participants

Préalablement au 1° point, nous avons accueilli par visioconférence Paul Salze qui va intégrer le projet sur le poste IGR pour jusqu'au 20 juillet 2018.

1- Elaboration du scénario

Présentation du travail préparatoire par C. Bertelle (PP joint)

2- Déroulement de l'atelier :

- tour de table et liste de présence
- présenter objectif de l'action :
  - Act'Ecomob + continuité dans Feder = présentation globale 5' (Patricia)
  - Qu'est-ce que veut dire écomobilité ? 5' (Valérie)
  - Présentation succincte du modèle théorique 10' (Cyrille)
  - Transition vers la discussion : Bien faire passer le message que ce ne sont que des illustrations de postulats et que rien n'est arrêté pour l'heure.

- 3 temps de discussion :

- qu'est-ce qui se fait actuellement sur les territoires ? Quels sont les dispositifs qui les intéressent (besoins) ?
- comment le modèle pourrait aider ? qu'est-ce qui bloquent pour la prise de décision ? est-ce qu'un tel modèle les intéresse ? Etre attentif au fait que l'outil de simulation n'est pas toujours familier et demander s'il serait susceptible de se tourner vers de tels outils ?
- questions plus précises : temporalité de la mise en place d'une nouvelle modalité / pratique ? temporalité de l'appropriation des pratiques ? quels indicateurs privilégiés pour mesurer ? échelle de détails ? entrées oubliées ?

### **Compte-Rendu Réunion Xterm Action 3, 15/12/2017**

Ordre du jour :

- 1 - Informations
- 2 - Présentation « Simuler les déplacements, état de l'art et perspectives », Paul Salze

### 3 - Echéances 2018

#### 1 – Informations

- P. Sajous et V. Bailly Hascöet ont assisté aux 9° rencontres nationales « Nouveaux usages de la voiture, nouveaux visages des territoires ? » à Paris, 16 et 17 novembre 2017

2 - Présentation « Simuler les déplacements, état de l'art et perspectives », Paul Salze

A l'issue de la présentation, la discussion s'est avant tout focalisée sur la slide 13 pour établir les orientations du travail.

1- Le point 2, niveau d'agrégation, est retenu.

2- Les points 3 et 4 constituent les originalités du modèle en s'intéressant à l'intégration de la dimension sociale dans un modèle.

Même si cela constitue une réelle difficulté à laquelle peu d'équipes se sont pour l'heure réellement confrontées, elle est retenue par l'équipe XterM Action 3 car

- elle est porteuse d'interdisciplinarité

- elle initie une posture scientifique à défricher au regard de la définition du développement durable : l'équipe estime qu'il y a paradoxe à rester dans des modèles économétriques classiques pour traiter cette notion dont un des piliers est la question sociale.

Un principe de réalité s'impose cependant et dans les mois de mission de P. Salze, le réalisme du modèle est considéré comme secondaire par rapport à la réflexion à opérer sur un modèle que l'on pourrait qualifier à ce stade de socio-écolo-métrique.

3- L'idée de faire une analyse a posteriori de l'arrivée du tramway, bien encadrée par deux enquêtes ménages est retenue. C'est une autre façon de vérifier les postulats du modèle général. Il n'est pas sûr cependant que cela puisse être mené dans le temps imparti pour XTerM action 3.

4- Il a aussi été mentionné qu'il serait intéressant de développer, à l'intention des agglomérations, une microgéographie qui permette de préciser les caractéristiques locales en contexte de recherche de solutions environnementales. Il n'est en effet pas scientifiquement tenable d'admettre comme le discours politique, que toute mesure permet d'emblée l'amélioration de la santé, du mieux circuler, etc. Ici, est délaissée la question du basculement des comportements pour mieux appréhender au niveau de l'agglomération, sur un principe comparatif, les points qui seraient à travailler pour tendre, quel que soit le moment de passage vers cette solution environnementale, vers l'amélioration des indicateurs environnementaux de santé, de mobilité, etc.

### 3 - Echéances 2018

- Les 1° rencontres francophones Transport Mobilité (<https://rftm2018.sciencesconf.org/>) offrent des sessions pour lesquelles il serait intéressant de déposer des propositions de communications.

Paul Salze d'une part et Thibaut Langlois d'autre part sont chargés de faire un repérage des sessions et des propositions d'axe de soumission.

- Phasage projet :

Le WP2 prendra fin en avril 2018. Le WP3 « Validation auprès des acteurs du territoire / Bilan de l'interdisciplinarité » prendra alors le relais et sera sous la responsabilité de l'IDIT.

Dans cette perspective, le livrable de fin de WP2 sera rédigé et fera partie de la remontée semestrielle de juillet.

Actions :

- préparation des soumissions pour les 1<sup>e</sup> rencontres francophones Transport Mobilité
- discussion lors de la prochaine réunion sur la slide 13 afin de préciser le « cahier des charges » du modèle

Prochaine réunion le 16 Février 2018

**Entre janvier et juin 2018**, l'action principale de l'équipe s'est porté sur le développement du modèle sur un plan technique. Sur cette période, le travail de l'IGR Paul Salze a été très précieux.

Lors de la réunion de février, le choix a été fait d'ouvrir une dimension réflexive qui n'avait pas été vue au début du projet en 2015. En effet, les travaux des juristes et des géographes de l'équipe ont pu montrer les spécificités de la thématique. Or, l'état des lieux des modèles montrent l'hégémonie des modèles à base économétrique. L'équipe a mesuré la perte d'informations que cela provoquait sur la notion si cette seule trame de modèle était considérée, notamment concernant la prise de décision pour le changement de comportement. C'est pourquoi, il a été décidé, avant même toute implémentation de scénarios à proprement parler « durable », d'approcher cette question sur un principe de multimodélisation en développant une approche modélisatrice économique, une approche psychologique et une approche sociologique.

En avril, l'avancement des travaux a permis de se projeter dans la présentation des premières ébauches de cette réflexion dans des colloques mais occuperont P. Salze, IGR, jusqu'à la fin de son contrat.

### Réunion XterM Action 3, 16 février 2018

1- Informations :

- La proposition préparée par P. Salze en vue du colloque RFTM 2018 de juin à Lyon a été déposée à la soumission.
- Formation sur plateforme GAMA de 3 jours 3 au 5 avril 2018 pour P. Salze à Toulouse
- P. Sajous retenue pour le Colloque EPS en mars 2018 pour communiquer sur le télétravail
- Proposition de 2 sujets de TPE (Travaux Pratiques Encadrés) en M1 Informatique Université du Havre - Normandie
  - 1 travail sur traitement des données géographiques
  - 1 travail sur la génération de populations synthétiques

- Dépôt envisagé d'une proposition de communication pour le colloque ASRDLF en juillet à Caen sur la session Modélisation.

2- Poursuite du travail sur la slide « Simuler les impacts de dispositif pour favoriser l'écomobilité : perspectives et propositions »

Des éléments complémentaires ont été envoyés par Paul avant la réunion dans 2 documents : carte mentale + document synthétisant l'état de l'art et la problématique générale (déclinaison en différentes questions) qui se pose pour le développement du modèle E3M.

Synthèse de la présentation de P. Salze et de la discussion générale :

On constate que le modèle de décision n'est jamais testé dans les modèles. On admet alors que les individus sont des « maximisateurs d'utilité ». C'est cependant oublier qu'il existe les théories de l'action. On peut alors se demander quel pourrait être l'effet de ce paramètre décisionnel sur un modèle de transport.

Paul a plus travaillé cette question en se focalisant plus particulièrement sur un modèle dispositionnel (c.f. Sociologie de Bourdieu) qui se définit par un apprentissage inconscient l'idée de conditionnement social. Ainsi l'individu intérieurise en fonction de sa position sociale des manières d'être, de faire, des règles explicites et non explicites.

Paul propose et a lancé le développement d'un premier modèle pour tester les options d'un modèle de décisions. L'idée est alors de comparer une situation de déplacements urbains modélisée sous des principes économétriques puis psychologiques et enfin sociologiques. Cela permet d'évaluer les apports de chacune des théories.

A l'issue de cette phase de développement, il est envisagé d'échanger avec des sociologues sur la proposition d'implémentation et devoir si cela leur semble cohérent (contact pris avec le séminaire de Sociologie du Havre).

Planning envisagé : développement jusqu'à début avril des modèles comparés puis formation sur GAMA et possibilité d'évoluer vers un modèle qui intégrera plus les items de l'écomobilité.

Prochaine réunion 13/04/2018

## Réunion XterM 13/04/2018

### 1- Informations

#### 1.1. Activités scientifiques / déplacements depuis la dernière réunion

Patricia Sajous : intervention « Le télétravail : sur la voie de la banalisation ? » colloque « Espaces, populations, société... en mouvements » le 29 mars à Lille

Paul Salze en formation GAMA à Toulouse du 3 au 5 avril 2018 (voir point 4 pour le contenu de la formation).

## 1.2. Activités scientifiques / déplacements à venir

### Acceptation de communications

- Ateliers de sociologie du Havre, le 17 mai par Paul et Patricia
- RFTM 6 – 8 juin à Lyon Inscription immédiate de Paul et confirmation à suivre pour Patricia et Cyrille

### En attente des résultats de l'évaluation

- ASRDLF 4 au 6 juillet à Caen : nécessaire de retenir les hôtels avec option annulation car autre manifestation à Caen aux même dates

Réservation de 2 nuits pour Paul, Patricia, et Thibaut

Nathalie, Cyrille à confirmer

- Déplacement pour préparation du WP3 :

31 mai (pas grève, 30 au 1°) cerema : Première journée d'échanges sur la modélisation multimodale, le 31 mai à Marne-la-Vallée (9h15 - 16h30).

Inscription pour Paul, Patricia et Thibaut

## 2- Livrable du WP 2 : travail préparatoire

Rappel des objectifs du WP 2. Développement du protocole et de l'outil de modélisation

- Définition du protocole – cahier des charges fonctionnel
- Définition du modèle multi-échelles
- Développement outil modélisation
- Enquêtes

Deux plans sont envisageables :

### Plan 1

#### Introduction

- objectifs
- démarche de travail (réunions, Territoire de travail, communication vers les milieux académiques
- justification du plan

#### 1° partie : Modélisation

- Définition du protocole – cahier des charges fonctionnel
- Définition du modèle multi-échelles
- Développement outil modélisation

#### 2° partie : Bases de connaissances

- veille réglementaire
- télétravail
- habitants et réseaux techniques

## Plan 2

### Introduction

- objectifs
- démarche de travail (réunions, Territoire de travail, communication vers les milieux académiques)
- justification du plan

Chap 1. Veille réglementaire = introductif aux autres résultats

Chap 2. Modélisation

Chap 3. Enquêtes

A partir de cette base de trame générale, l'idée est de rassembler les éléments acquis au long du WP et de trancher le plan de présentation courant juin.

### 3- Transition vers le WP3 (juin)

Point d'information sur l'arrivée à échéance en mai du WP2.

Rappel du WP3. Valisation auprès des acteurs du territoire / Bilan de l'interdisciplinarité (IDIT en leader du WP)

Le livrable prévu mentionne comme objectifs :

- Phase de test avec les acteurs du territoire
- Conclusions : approche pluridisciplinaire

### 4. Présentation des résultats/avancées :

- Modèle

Depuis la dernière réunion, développement du 1<sup>o</sup> prototype sous Netlogo. L'idée était de finir ce prototype pour la formation gama avant de le transférer sur gama. Le prototype a été avancé mais pas terminé comme envisagé.

Formation Gama à Toulouse a montré qu'il était nécessaire pour Paul d'apprendre un nouveau langage « gaml ». La plateforme est plus intéressante que Netlogo car

- intégration et manipulation des données géographiques avec plus de possibilités
- puissance de calcul permet de gérer un nombre d'agents plus important
- possibilité en termes de visualisation plus importantes et intéressant pour la diffusion vers les acteurs du territoire

Déroulement de la formation sur 3 jours pour débutant :

2 premiers jours pour introduire la plateforme et le 3<sup>o</sup> jour soit sur des exercices pour s'entrainer sur points techniques soit pour travailler sur projet personnel. Choix de cette option mais prend du temps ce n'est pas la même grammaire ni le même langage.

Aussi Paul signale qu'il a perdu la visibilité sur le rythme d'avancement.

Le transfert oblige aussi à repenser des éléments du schéma conceptuel.

Séquence reste :

- 1- le passage vers un environnement plus réaliste
- 2- création d'une population synthétique
- 3- réfléchir au scénario

- **Télétravail**

L'intervention abordait la question de la banalisation du télétravail. Cet angle de réflexion s'est révélé à l'issu de l'analyse de la littérature, de données concernant le dispositif de télétravail à temps complet gersois Soho solo, de données issues d'une enquête qualitative auprès des télétravailleurs à temps partiel avec avenant au contrat de travail sur le site havrais de la société Safran Nacelles et, enfin, de l'ordonnance n° 2017-1387 du 22 septembre 2017 de la loi travail.

Si la diffusion du télétravail est sujette à controverse, les pratiques observées peuvent être qualifiées de banales. Cela repose, avant tout, sur leur perte de spécificités dans le monde du travail et au niveau des mobilités résidentielles, mais aussi du fait de leur intégration dans un régime juridique de droit commun.

Actions :

Par mail, en Juin :

- plan du livrable

### **WP 3 TEST – CONCLUSIONS**

Le WP3 s'est étalé sur deux périodes :

- Juillet à décembre 2018
- Janvier à septembre 2019

Ce WP avait deux objectifs principaux :

1°) Une phase de test du travail de modélisation avec les acteurs du territoire. Cette phase a été réalisée au travers de deux événements :

- la tenue de l'atelier «Modéliser la mobilité pour la rendre durable» lors de la rencontre scientifique et d'innovation territoire de demain du 29 novembre 2018
- une rencontre de travail de co-construction autour d'une table numérique interactive, avec des représentants de Caux Seine Agglo le 25 septembre 2019

2°) Une phase d'appréciation de l'approche pluridisciplinaire (juristes ; fiscalistes ; géographes ; informaticiens / modélisateurs) étendue à tous les participants de l'action 3. Cette phase a pris la forme d'une réunion le 30 septembre 2019.

Ces deux objectifs ont intégré le travail de modélisation de Paul SALZE qui s'est poursuivi, ponctué par des réunions bi-mensuelles.

L'IDIT a poursuivi sa veille réglementaire sur l'évolution des dispositifs en faveur de l'écomobilité, notamment au travers des travaux parlementaires sur le projet de loi d'orientation des mobilités.

Ce WP3 fait l'objet d'un livrable spécifique remis en parallèle de la remontée de la période janvier - septembre 2019.

### **Réunion XterM 13/07/2018**

#### 1. Informations sur les déplacements sur la période :

- P. Sajous et P. Salze ont assisté à la journée CEREMA, 31 mai 2018, 1ère Journée d'Echanges sur la Modélisation Multimodale (JEMM), Champs-sur-Marne.
- Intervention au Colloque RFTM Lyon, 1ères Rencontres Francophones Transport Mobilité 6-7-8 juin 2018, Vaulx-en-Velin : « *EcoMob-MultiMod (EM3) : un modèle pour simuler l'écomobilité. Démarche, choix et perspectives de modélisation* »
- Intervention au colloque ASRDLF, 55ème colloque de l'Association de Science Régionale de Langue Française (ASRDLF), du 4 au 6 Juillet 2018, Caen : « *Satisfaction, intentions, dispositions. Quelle approche comportementale pour quelles conséquences sur les inégalités sociales de mobilité dans les modèles de transport ?* »

Par ailleurs, les éléments ont été fournis pour :

- participer à la rencontre scientifique et d'innovation « Territoires de demain »
- proposer une session sur la mobilité durable pour le colloque XterM 2019

## 2. Résultats des travaux de Paul Salze

Lors de la discussion, les orientations suivantes ont été retenues :

- poursuite de l'exploration, encore loin d'un outil « clé en main »
- le scénario à intégrer pour faire bouger l'environnement s'intéresserait aux « zones à circulation restreinte »
- générer un modèle plus réaliste à partir de l'algorithme de M. Barthélémy en fonction du temps disponible.

## 3. Le Livrable

L'idée est en introduction de partir d'une boucle "vertueuse" se refermant sur elle-même entre bases de connaissances et élaboration du modèle (se nourrissant mutuellement).

Nous rappellerons que le WP1 consistait surtout à constituer la base de connaissance.

Aussi, le corps de la rédaction du WP2 sera constitué par les éléments rassemblés par Paul SALZE pour élaborer le modèle mettant en avant la démarche qui a occupé principalement l'équipe. Nous préférons éviter les assertions sur le juridique et l'aménagement pour ne pas nuire à la compréhension de la démarche générale.

Par ailleurs, en annexes, nous mettrons tout ce que nous avons obtenu sur la période et qui constitue une veille toujours active dans la suite du WP1 (= la poursuite de la base de connaissance).

## **Réunion XterM 14/09/2018 : Clôture du WP2 et Transition vers le WP3**

Le livrable est en phase de finalisation à la date de la réunion. Le plan retenu lors de la réunion de juillet 2018 est maintenu.

### 1. Organisation du WP3

Principe maintenu de réunions d'équipe tous les 2 mois. L'IDIT sera partie prenante de l'organisation.

### 2. Animations envisagées pour atteindre les objectifs du WP3 :

Deux objectifs avaient été mentionnés dans le dossier déposé concernant le WP3 :

- une phase de test concernant la modélisation

### - un bilan de l'interdisciplinarité de l'action 3

Au regard de ces deux objectifs, le retour vers les acteurs socio-économiques et les décideurs se fera à travers la tenue de l'atelier « mobilité durable » lors de la rencontre scientifique et d'innovation territoire de demain du 29 novembre 2018. Il sera ainsi possible de montrer les avancées depuis la présentation lors de la rencontre 2017.

Il est à noter que l'équipe ne considère pas le travail sur le modèle terminé et travaille, avec le soutien de l'action 1 et en particulier de Paul SALZE, au développement du scénario de Zone à circulation restreinte.

Pour l'heure, le même principe d'animation interactive est retenu pour l'atelier. Lors de la réunion le mailing a été vérifié. Il est prévu de répondre positivement à l'accompagnement du pôle TES qui a ciblé des membres de son réseau plus particulièrement intéressés par les problématiques portées par XTERM en général et l'action 3 en particulier

Il est envisagé à la suite de cet atelier, d'organiser un autre évènement pouvant se tenir en parallèle du colloque XterM de juin 2018 ou un peu plus tard, évènement qui pourrait s'appuyer sur la plateforme de démonstration de modélisation.

### 3. Mise en œuvre de la plateforme de démonstration de la modélisation

Suite à une réunion concernant l'administration du projet qui a permis de réunir directeurs des laboratoires concernés et responsable des actions Xterm au Havre, une demande commune a émané concernant un outil permettant de communiquer avec élus et acteurs socio-économiques tout en recherchant la meilleure qualité de partage des problématiques, des résultats, des perspectives.

L'action 3, particulièrement concernée par cette question, avait alors proposé de mettre en commun idées et moyens pour développer une plateforme de démonstration de modélisation. Le choix, eu égard aux objectifs d'échanges espérés, s'oriente vers l'acquisition de table(s) numérique(s) interactive(s). Ce matériel offre de grandes possibilités quant aux formats de rencontres où il peut trouver pleinement sa place et créer des conditions d'échanges fructueux (impliquer tous les interlocuteurs, faire des simulations en laissant « prendre » la main sur les modèles, faire des séances plénières mais aussi offrir des possibilités de focus sur des points spécifiques en simultané si on dispose d'au moins 2 tables, etc.)

## Réunion XterM 16/11/2018 : 1<sup>ère</sup> réunion du WP3

### 1. Informations

Investissements : Suite au début de réflexion menée pour l'achat de tables numériques interactives, il semble pertinent de réfléchir à un achat collectif qui va servir à l'ensemble des démonstrateurs des actions 1 et 3 et aussi à des animations relevant de l'action 0.

Des études de prospection ont été menées et nous conduisent en cette fin d'année 2018, à nous orienter vers des solutions telles que proposées par la société UbiKey, start-up hébergée à l'UTC, Compiègne qui préconise un dispositif composé d'une table et d'un tableau tactiles de grandes dimensions associés à une suite logicielle multi-utilisateurs.

## 2. Présentation par Paul SALZE de ses travaux d'octobre et novembre 2018

### a. Schéma de Formalisation du modèle

Schéma présentant les sous-modèles : Décision, Déplacement, Perception, Trafic, Emissions.

Au départ, il avait été décidé de considérer que les individus ont une information complète sur l'ensemble du réseau. Comme ce n'est pas très réaliste (à moins de supposer que tous les individus disposent des sources d'information nécessaires – applications smartphone), il a été décidé de travailler à partir d'une perception individualisée (apprentissage par expérience et seulement sur l'itinéraire emprunté).

### b. Intégration du scénario de création d'une zone à circulation restreinte (ou zone à faible émission – ZFE)

Pour le sous-modèle « Emissions » :

- prise en compte du taux de motorisation de la population en fonction de critères socio-démographiques
- définition des catégories de véhicules
- définition du modèle d'émissions

Basé sur la classification CRIT'AIR (âge et source d'énergie ou catégorie EURO) applicable à tous types de véhicules, y compris les véhicules utilitaires légers qui font partie des véhicules d'entreprises (acteurs compris dans le périmètre du projet) permettant de transporter des personnes.

Les véhicules au GNV font partie de la catégorie 1 (véhicules gaz et hybrides rechargeables)

Sources de données utilisables : Fichier immatriculations (limité aux véhicules de - de 15 ans) / Enquête Nationale Transports Déplacements (2008) (peu d'informations sur les véhicules)

Pour chaque individu, on choisit un niveau d'émission.

Création d'un sous-modèle « Gestion territoriale » (gestionnaire) prenant en compte la mise en place d'une ZCR appliquée aux résidents et aux travailleurs concernés par la zone (la quittent, y viennent ou la traversent).

On ne tient pas compte des horaires réglementaires d'application de la restriction (ex : de 8h à 20h à Paris) : l'individu va devoir trouver une autre solution et ne va pas tenter de partir plus tôt ou de rentrer plus tard.

### c. Présentation dynamique de la simulation

Intégration de la ZCR dans le modèle (**Version 1.3.**) :

- Des carrés de couleur présentent les niveaux de pollution.
- Cumul sur une journée ou moyenne sur l'ensemble de la période de simulation.
- On sélectionne les quartiers où l'on place la ou les ZCR.

- On choisit les catégories autorisées.
- 1000 individus dans le modèle.

#### Développement des indicateurs

- Part modale : Constat d'un report majoritairement sur les transports en commun.
- Durée de transport : Augmentation du temps de trajet dans transports en commun.
- Taux de pollution sur chaque cellule : Baisse dans la ZCR, mais augmentation dans les faubourgs.
- Modération en fonction des revenus, de la localisation géographique de la résidence (centre, faubourg, banlieue).

Pour l'instant, le modèle tourne avec le seul modèle économique.

#### 3. Prochaines étapes

Novembre 2018 : Modélisation sur le modèle sociologique et analyse des résultats sur version 1.3.

Déc. 2018 - Fév. 2019 : Développement du City Wizard (version 2 du modèle). Vers un modèle plus réaliste, générer des formes de villes. La version 3 pourrait utiliser Google Map pour travailler sur des villes existantes.

Mars 2019 : Intégration de la ZCR sur version 2

Mars – Avril 2019 : Implémentation sur table géante et tests

#### 4. Préparation de la Journée « Territoires de demain » 2018 (29 novembre 2018 – CCI Seine Estuaire – Le Havre)

Cette journée permettra d'initier la phase de test du démonstrateur avec les acteurs du territoire

Co-animation

Déroulé de l'Atelier 3 « *Modéliser la mobilité pour la rendre durable* » :

- Rappel de l'objectif
- Tour de table pour que les participants s'identifient et expliquent leur intérêt pour cet atelier (attentes, besoins)
  - o 1°) Présentation sur le contexte réglementaire de la mobilité durable – discussion – réactions
  - o 2°) Présentation sur la modélisation – Conduite au changement – Dimension cognitive - discussion – réactions

#### **29 novembre 2018 : Territoires de demain – Rencontre scientifique d'innovation – CCI Le Havre - Atelier 3 « *Modéliser la mobilité pour la rendre durable* »**

Participants à l'atelier :

Jérôme	QUILLET	Transdev Rouen
Patricia	SAJOUS	Université le Havre Normandie
Mélanie	CLOAREC	Pôle MOVEO
Valérie	BAILLY-HASCOËT	Institut du Droit International des Transports

<i>Christophe</i>	<i>CHAUVIN</i>	<i>Pôle NOVALOG</i>
<i>Adrien</i>	<i>VERDIERE</i>	<i>CODAH</i>
<i>Ludovic</i>	<i>COUTURIER</i>	<i>Institut du Droit International des Transports</i>
<i>Marie-Annick</i>	<i>LEROY</i>	<i>Caux Seine Agglo</i>
<i>Guillaume</i>	<i>CZURA</i>	<i>Métropole Rouen Normandie</i>
<i>Cyrille</i>	<i>BERTELLE</i>	<i>Université le Havre Normandie</i>
<i>Duy-Hung</i>	<i>HA</i>	<i>CEREMA</i>
<i>Paul</i>	<i>SALZE</i>	<i>Université le Havre Normandie</i>



1. Rappel de l'objectif de l'action: Développer un outil modélisateur qui permette d'observer sur un territoire les effets d'une mesure en faveur de l'écomobilité. Une sorte d'outil d'aide à la décision basé notamment sur l'intégration de la législation dans la modélisation. Nous en sommes au WP3 de ce projet, c'est-à-dire la phase d'élaboration du modèle et test avec les acteurs du territoire.
2. Présentation de l'environnement juridique de l'écomobilité (Valérie BAILLY-HASCOËT)
3. Présentation des travaux de modélisation: « EM3 - un modèle pour Simuler les effets de politiques d'écomobilité sur un territoire urbain » (Paul SALZE)
4. Echanges

Marie-Annick LEROY :

Caux Seine Agglo vient de prendre la compétence mobilité. Problématique : comment amener le changement de comportement dans les usages ?

Il y a d'autres plans territoriaux à un niveau inférieur, notamment le PCAE, SCoT, PLUI, PDU...

Pb du bouleversement de tous ces schémas ces dernières années (hiérarchie, périmètre, contenu). Les différentes réglementations aux niveaux international et national entraînent une « avalanche » de mesures au niveau local, avec leurs redondances voire leurs contradictions.

Par rapport au modèle tel qu'il se présente actuellement : il s'adapte mal aux territoires polycentriques, avec plusieurs centralités. L'échelle de la commune n'est pas pertinente -> il faut élargir à celle de la communauté d'agglo (a minima)

Jérôme QUILLET :

Intérêt d'étudier l'aspect voirie car il y a des gestionnaires de transport et des gestionnaires d'infrastructures qui n'ont pas toujours les mêmes intérêts/visions

Dialogue difficile (voire souvent inexistant) entre 2 sphères d'acteurs : AOM et gestionnaires infrastructures.

Guillaume CZURA :

Les Modèles utilisés sont souvent anciens (années 80) : pose la question de leur validité au regard du contexte actuel (ex : modèle FretUrb)

Création d'une ZCR à l'échelle de la métropole : il faut 71 arrêtés municipaux, impossible. Se limiter à Rouen ?

Pb du contrôle/police : la métropole n'a pas la compétence

Christophe CHAUVIN :

Etanchéité des modèles de transport marchandises vs. personnes. Note perso (Paul SALZE) : il me semble qu'il existe des modèles (type LUTI notamment) simulant les deux, mais c'est à vérifier...

On peut retrouver cette coupure dans les données : pour la mobilité des personnes de plus en plus de données sont publiques et accessibles, pour la mobilité des marchandises les données restent privées car enjeux économiques/stratégiques trop importants.

Néanmoins, les acteurs publics deviennent également méfiants par rapport à ce que les acteurs privés feront de leurs données. La mise en place de certaines applications par les acteurs privés peut aboutir à un effet contraire aux principes et politiques menées par l'acteur public.

Duy-Hung HA :

Même lorsqu'on a des données pour un territoire, il y a le pb de leur transférabilité / pertinence par rapport à un autre territoire puisque chacun a ses spécificités.

Adrien VERDIERE :

Souligne l'intérêt de la notion de « perception » (idées reçues) dans le changement de comportement.

Ex : perception du vélo (cout, temps de parcours, météo).

Mélanie CLOAREC :

La notion de « satisfaction » est également importante, c'est un indicateur pour NOVALOG, s'approche de l'acceptabilité

## Réunion XterM 14/12/2018

### Informations

- Soumission d'un article (« *Le système automobile : un malade imaginaire ?* ») pour le numéro « Déclin et survie des mobilités automobiles ? » de la revue Flux (P. SALZE, P. SAJOUS, V. BAILLY-HASCOËT)
- Projet de loi d'orientation des mobilités présenté le 26/11/2018 par la ministre des transports : des avancées réglementaires à attendre en matière d'écomobilité, notamment sur le développement des zones à faibles émissions
- Poursuite de la prospection pour l'achat d'un dispositif de valorisation des démonstrateurs évoqués à la précédente réunion et consistant en l'équipement d'une table et d'un tableau interactifs avec un logiciel de travail collaboratif. Une visite à l'UTC de Compiègne, spécialisées dans le développement de projets pour élaborer ce type de matériel est prévu en début d'année 2019.

## Réunion XterM 24/01/2019 : 2<sup>nde</sup> réunion du WP3

- Présentation par Paul SALZE de ses travaux (Descriptif City Wizard v. 0.1.8) et discussion dans le cadre de la collaboration entre les actions 1 et 3.

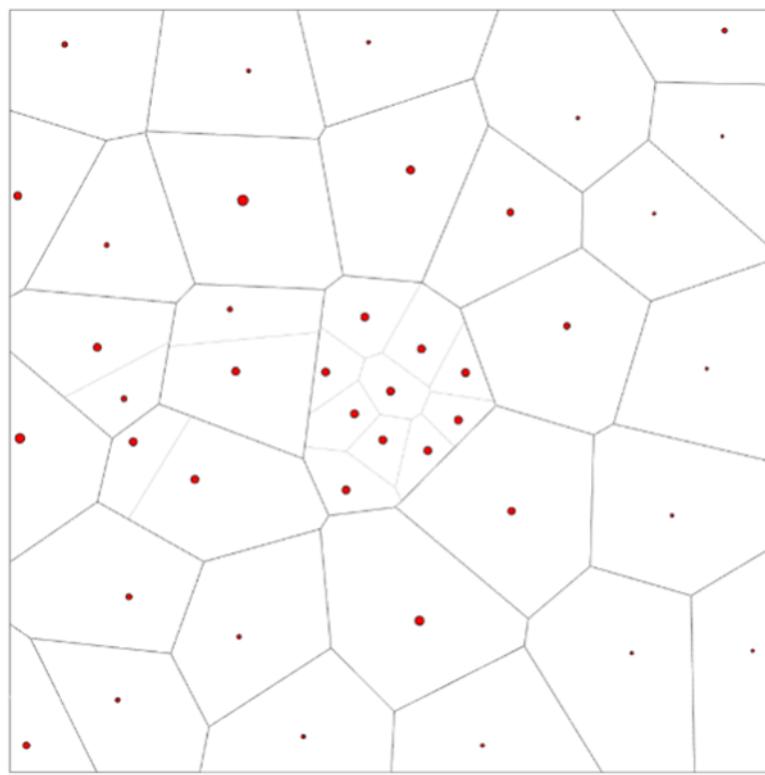
L'objectif de l'outil City Wizard est de générer des formes urbaines réalistes en termes de distribution de population et d'emplois, de formes de réseaux de routes, de réseaux de transports en commun et de réseaux de pistes cyclables. Il ne s'agit pas de reproduire les processus impliqués dans le développement urbain tels qu'ils peuvent ou ont pu advenir, mais de pouvoir produire différentes configurations territoriales stylisées. Par « configuration territoriale stylisée », on entend plus spécifiquement une entité administrative multi-communale caractérisée par un nombre aussi restreint que possible de paramètres socio-économiques et géographiques.

L'outil procède par étapes successives que nous présentons dans les sections suivantes : création du découpage administratif, création du réseau routier structurant, création du réseau de transports en commun, création du réseau routier secondaire, création du réseau de pistes cyclables.

1) Crédit à la création du découpage administratif  
Cette première étape consiste à produire le découpage administratif de la zone considérée, c'est-à-dire de créer et caractériser les différentes communes du territoire :

- a) on fixe la taille du territoire, la population totale, le nombre de communes ainsi que la présence éventuelle d'une contrainte naturelle de type « rivière » ;
- b) on crée le centre de la commune-centre (= centre administratif du territoire), on fixe sa position géographique (plus ou moins excentrée par rapport au centre géographique du territoire), sa population (% de la population totale) et sa superficie approximative (en fixant la distance minimale possible avec les centres de communes de la 1<sup>ère</sup> couronne) ;
- c) on génère les autres communes du territoire en les localisant aléatoirement. La localisation doit cependant respecter la contrainte de distance minimale à la commune-centre, ainsi qu'une seconde contrainte de distance (distance minimale entre communes non-centre) ;
- d) on génère le découpage administratif à partir d'un diagramme de Voronoï ;
- e) ce découpage nous permet de distinguer les communes de la 1<sup>ère</sup> (adjacentes à la commune-centre) et de la 2<sup>ème</sup> couronne (communes restantes), et de déterminer la population dans chacune d'elles à partir du paramètre « part de la population totale en 1<sup>ère</sup> couronne » ;
- f) on fixe la population des communes à partir de deux paramètres permettant de définir le degré de hiérarchisation dans la 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> couronne : la population de chaque commune est déterminée de telle sorte que la distribution rang-taille suive une loi de puissance ;

g) les communes dont la population  $P$  dépasse un certain seuil  $N$  (paramètre population d'un quartier) sont ensuite découpées en  $n = P/N$  quartiers : on génère  $n$  centres de quartiers au sein d'une commune donnée. Les centres de quartiers sont localisés aléatoirement en respectant une contrainte de distance minimale entre 2 quartiers.



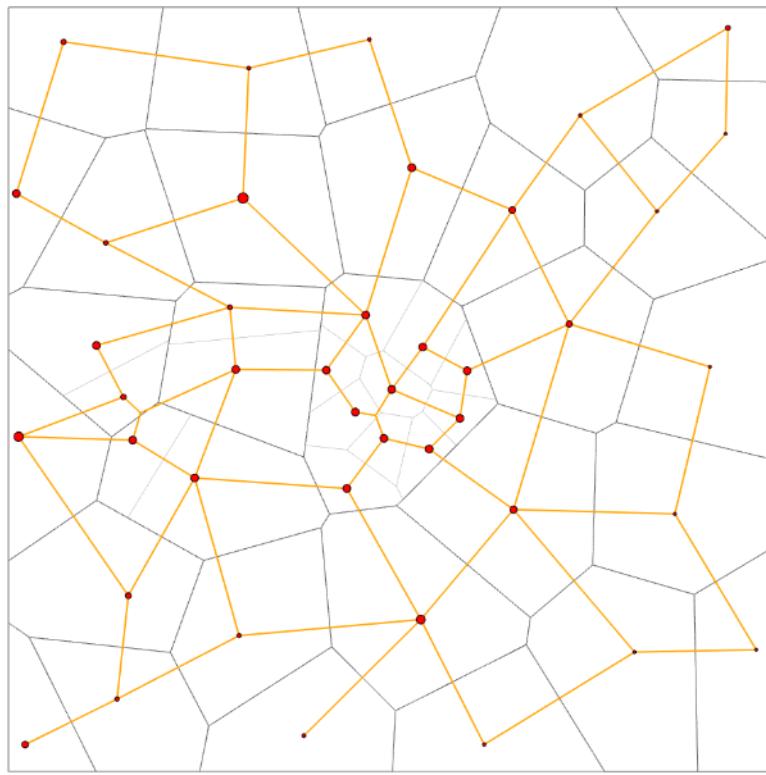
**Figure 10 : Génération du découpage administratif (étape 1)**

## 2) Création du réseau routier structurant

Cette seconde étape consiste à créer le réseau de routes principales permettant de relier les centres de communes et quartiers entre eux.

En partant de la commune-centre et en s'éloignant progressivement :

- a) on sélectionne les deux centres non-connectés par le réseau les plus proches de la commune-centre ;
- b) chaque centre sélectionné tente de stimuler ses voisins connectés au réseau si la ligne entre le centre et son voisin : ne coupe pas une autre unité administrative, ne coupe pas une rivière avec un angle supérieur à un seuil (paramètre), ne coupe pas une route existante ;
- c) les voisins ainsi sélectionnés vont générer des routes vers les centres qui les ont stimulé, en créant éventuellement des « fourches » lorsqu'ils sont stimulés simultanément par deux centres et qu'il existe une solution locale optimale pour minimiser la longueur des routes à générer (cf. Barthélémy et Flammini 2008) ;



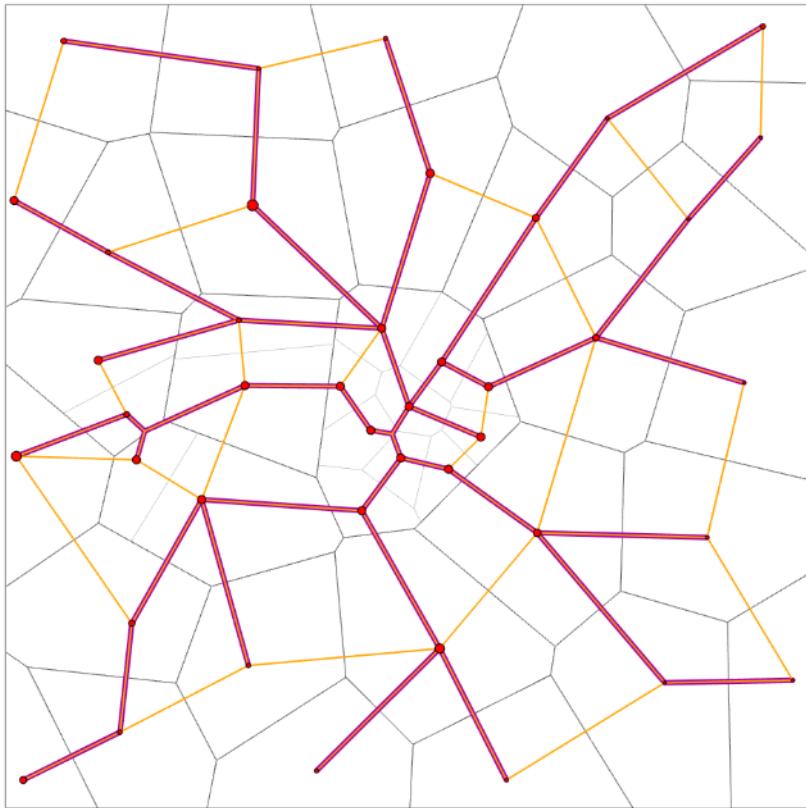
**Figure 11- Génération du réseau routier structurant (étape 2, résultat final)**

### 3) Création du réseau de transports en commun

La troisième étape consiste à générer le réseau de TC à partir du réseau routier structurant. On considère ici que le réseau est centralisé et s'organise à partir de la commune-centre.

En partant de la commune la plus éloignée du centre, et en se rapprochant progressivement :

- on cherche le plus court chemin vers le centre ;
- en crée une ligne de TC suivant le réseau structurant, tant qu'une autre ligne de TC n'est pas présente ;
- la procédure s'arrête quand tous les centres sont connectés ; remarque : on peut rajouter des paramètres permettant par exemple de fixer le pourcentage de communes devant être connectées au réseau, ou encore pour déterminer le nœud central du réseau (critère de population par exemple) ;



**Figure 12- Génération du réseau de transports en commun (étape 3, résultat final)**

#### 4) Création du réseau routier secondaire

La quatrième étape consiste à générer le réseau routier secondaire au sein de chaque unité administrative.

En partant du quartier central, et en s'éloignant progressivement :

- on génère aléatoirement deux points au sein du quartier/de la commune ;
- on connecte les points au réseau existant (principal + secondaire) en suivant la procédure précédemment (Barthélémy et Flammini 2008) et en tenant compte de l'éventuelle présence d'une rivière (contrainte angulaire). La longueur minimale d'un segment de route est fixée à 100 mètres.
- on répète l'opération  $X.P$  fois, où  $P$  est la population de l'unité et  $X$  est un paramètre à fixer. Ainsi, plus une unité est peuplée, plus le réseau routier y sera dense.

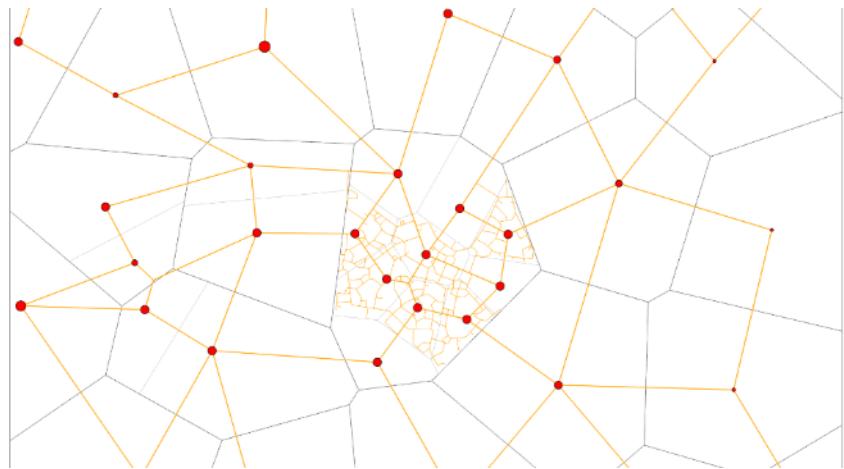


Figure 13- Génération du réseau routier secondaire (étape 4, en cours d'exécution)

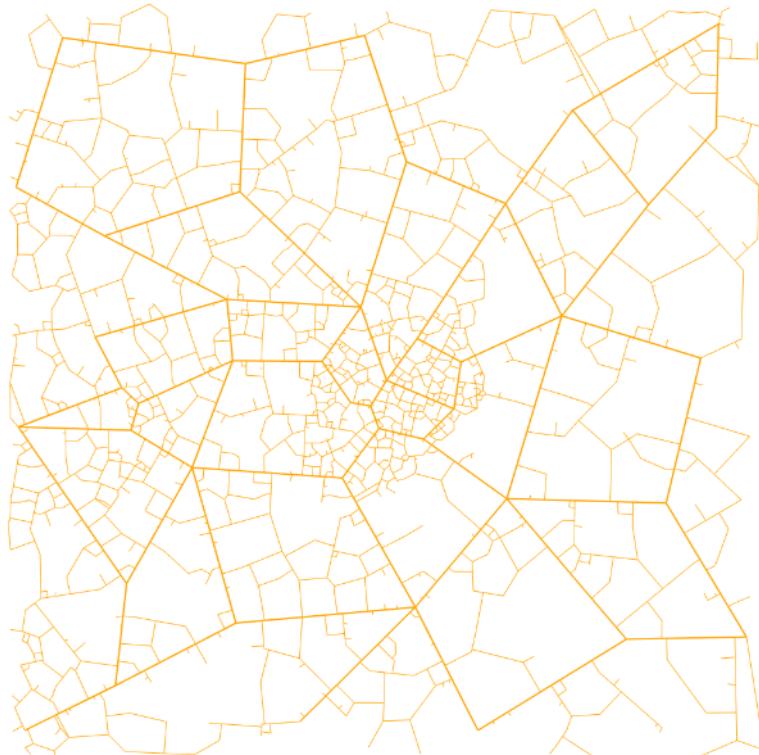


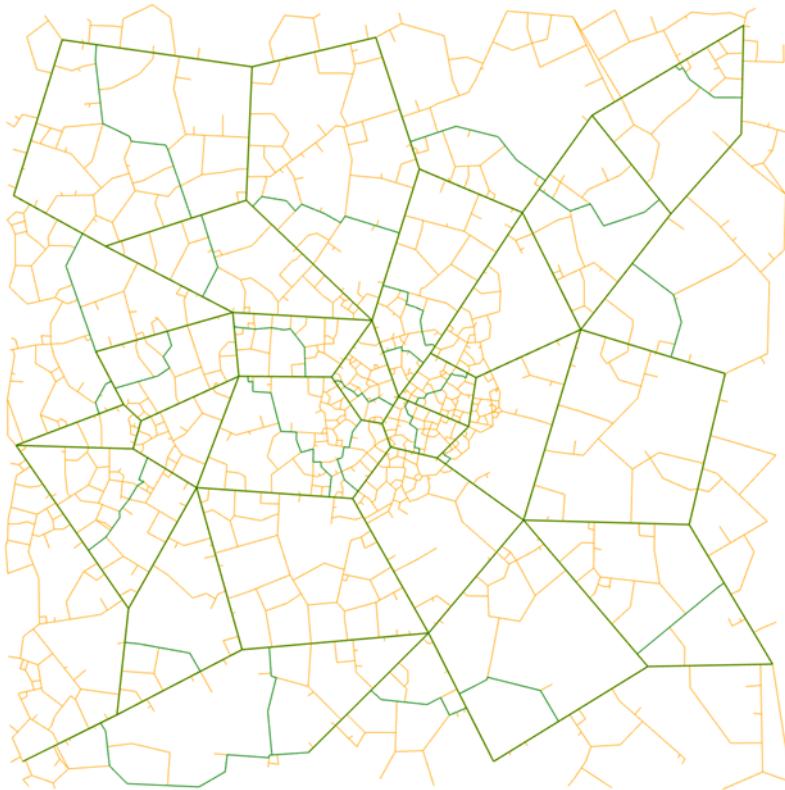
Figure 14- Génération du réseau routier secondaire (étape 4, résultat final)

## 5) Création du réseau de pistes cyclables

La cinquième étape consiste à générer le réseau de pistes cyclables à partir du réseau routier (principal + secondaire).

En partant du quartier central, et en s'éloignant progressivement, l'unité administrative sélectionnée va chercher à se connecter aux unités voisines via le plus court chemin sur le réseau routier. Une piste cyclable est créée sur chaque segment de route emprunté. Remarque : dans la version actuelle, toutes les unités sont reliées entre elles, et la connectivité du réseau cyclable est totale. Des réflexions

sont encore en cours afin de déterminer des paramètres qui permettraient d'introduire plus de finesse et de possibilités dans la construction de ce réseau.



**Figure 15- Génération du réseau de pistes cyclables (étape 5, résultat final)**

- Les prochaines étapes de travail envisagées sont :
  - la distribution des emplois
  - la mixité fonctionnelle : zones d'emploi, zones résidentielles
  - mixité sociale : ségrégation sociale (quartiers riches et pauvres)
  - agenda, intégrer d'autres activités que le travail ?

#### Réunion XterM 07/03/2019 : 3<sup>ème</sup> réunion du WP3

- Point sur les soumissions pour la thématique « Territoires et Mobilités durables » du colloque XTERM 2019 : 11 propositions
- Point sur les soumissions pour la thématique « Où en est-on du « tournant environnemental » de la mobilité quotidienne ? » du colloque RFTM 2019 : 10 propositions, large panorama
- Présentation par Paul SALZE de ses travaux
  - Travaux sur le City Wizard
  - Exploration d'un générateur de formes urbaines présenté par une doctorante lors d'un colloque à Besançon en février 2019 : technique de modélisation géométrique et procédurale, création de ville, réseaux, bâtiments, formes géométriques basiques en 3D sur lesquelles on colle des textures

Obs P. SAJOUS : Dans l'objectif d'un partenariat avec les collectivités, notre projet doit pouvoir s'adapter à un territoire donné et donc pouvoir récupérer des formes现实 existantes.

Obs. C. BERTELLE : A ce stade du projet, il est nécessaire de définir les données dont nous avons besoin.

- Point sur le projet d'acquisition d'une tablette géante
  - Visite par P. SAJOUS et C. BERTELLE de la Halle numérique de l'UTC Compiègne. Ont une table multi-usages sur laquelle chacun peut travailler sur un aspect du projet. Utile pour un travail en mode collaboratif, gestion de projets. Une fenêtre pourrait montrer l'outil de modélisation et chacun pourrait émettre des propositions.
  - Logiciel URBAX : permet de créer un environnement vierge, des équipements

#### Réunion XterM 09/05/2019 : 4<sup>ème</sup> réunion du WP3

- Point sur les 2e rencontres francophones transport mobilité (RFTM), Montréal, Québec, 11-12-13 juin 2019 : 2 sessions avec 8 présentations
- Point sur le colloque XTERM 2019 : 12 présentations pour notre session « Territoires et mobilité durables »
- XTERM - Rapport scientifique : septembre 2019. Remontée : fin octobre 2019
- Table tactile : Livrée en juillet 2019. Envisager une présentation test
- Présentation par Paul SALZE de ses travaux avec le City Wizard présentant des formes urbaines. Il s'agit d'obtenir un modèle plus réaliste pour les décideurs. On se situe en amont du modèle. Possibilité de présenter plusieurs communes (communauté d'agglos). Paramétrage des distances entre communes. Distribution quartiers résidentiels et quartiers d'emploi sur ces communes. Mixité fonctionnelle ou pas selon les zones. Commune centrale + communes 1ère et 2ème couronne. Découpage des communes en quartiers avec habitat et emploi. Génération de nœuds de réseau. Définition du réseau routier structurant (le plus court chemin reliant les quartiers). Génération des transports en commun sur ce réseau. Définir à partir de quelle commune ce réseau de TC va se structurer. Définition d'un niveau de service (=déserte). Ex : 50% de la population et de l'emploi sont desservis. Privilégier l'habitat ou l'emploi ? Paramétrage de la densité d'arrêts de TC (distance minimum et maximum entre les arrêts). Définition des pistes cyclables sur les connections entre quartiers. Suites : créer une population synthétique dans City Wizard ou dans EM3 ? Réfléchir à la question du bâti.
- Suite du projet : Il s'agit de déterminer nos objectifs et notre consortium (notamment il manque un économiste et éventuellement un sociologue). En vue de la prochaine réunion, chacun est invité à écrire comment il voit la suite.

#### Réunion XterM 11/07/2019 : 5<sup>ème</sup> réunion du WP3

- Présentation par Paul SALZE de la poursuite de ses travaux visant à intégrer le City Wizard dans le modèle EM3

Difficultés rencontrées :

- Les caractéristiques du réseau routier. Paul a dû définir des limites bâties communales dans lesquelles la vitesse est limitée à 50 km/h. La vitesse est supérieure sur les routes intercommunales.
- Difficulté pour localiser des populations au sein des quartiers. Paul a essayé de générer des densités. Il est peu satisfait du résultat car cela augmente les temps de calcul.
- Paul a repris l'algorithme de génération du réseau routier structurant pour avoir quelque chose de plus linéaire.

Paul arrive à une version stabilisée du City Wizard qu'il va introduire dans le modèle EM3, mais cela s'avère plus long que prévu : calculs à refaire, problème d'importation des données.

Paul fera deux livrables :

- Un document « utilisateurs »
- Un document pour le rapport

- Point sur le projet de phase de test avec les acteurs du territoire :

Suite à nos échanges avec Mme Marie-Annick LEROY (Dir. de la transition écologique et de l'innovation territoriale, Caux Seine Agglo) qui a assisté aux Rencontres Territoires de Demain 2018 et au colloque XTERM 2019, et qui s'est montrée intéressée par nos travaux, nous envisageons d'organiser avec elle en septembre 2019 une réunion visant à avoir le retour d'un EPCI sur le modèle EM3 et à discuter des données que celui-ci pourrait mettre à notre disposition pour le tester. Ces données pourraient par ailleurs être utilisées lors de la formation prévue sur la table tactile puisqu'il faut un cas d'étude. La phase de test est fixée au 25/09/2019

- Programmation pour le 30/09/2019 d'un moment d'échange sur l'approche pluridisciplinaire du projet XTERM (juristes ; fiscalistes ; géographes ; informaticiens / modélisateurs)

### **Réunion 25/09/2019 Phase de test du travail de modélisation avec des représentants de Caux Seine Agglo**

Cette phase d'échanges et de co-construction (voir livrable du WP3) avec des acteurs en charge des mobilités sur le territoire de l'intercommunalité Caux Seine Agglo est en quelque sorte une suite logique de précédentes rencontres lors des Rencontres scientifiques et d'innovation « Territoires de demain » de 2017 et 2018, ainsi que lors du colloque XTERM 2019.

### **Réunion 30/09/2019 Appréciation de l'approche pluridisciplinaire dans l'action 3**

L'action 3 a souhaité profiter de la constitution d'un livrable du WP3 concernant le fonctionnement pluridisciplinaire / interdisciplinaire de son équipe et ouvrir cette discussion à l'ensemble des membres du projet (voir livrable du WP3).

Cela recouvrerait plusieurs objectifs :

- permettre aux chercheurs de témoigner de l'expérience XTERM
- établir une définition de la pluri et de l'interdisciplinarité non pas depuis les normes disciplinaires des uns et des autres mais de dégager des caractéristiques pluri et interdisciplinaires selon l'expérience XTERM

- garder une trace « à chaud » du retour d'expérience XTERM en pouvant y revenir pour construire des arguments permettant de soutenir de futures collaborations sur le principe d'XTERM.

## 6.5 Action 4. Compétitivité territoriale et complexité des systèmes logistiques

### *6.5.1 Descriptif*

#### **Coordonnateur :**

Ludovic Couturier (IDIT)

#### **Objectif :**

L'action 4 explore une dimension d'approche multi-échelle en lien avec la compétitivité territoriale et la complexité logistique, généralement inscrites dans le périmètre de l'axe Seine.

**Mot-clés :** Droit des transports et de la logistique, Réglementation, socio-economie des transports, modélisation, simulation, systèmes de systèmes, systèmes distribués

### *6.5.2 Participants et ressources humaines*

#### **Laboratoires :**

- IDIT, Rouen
- MOBIS, Néoma BS
- LITIS, Insa Rouen Normandie
- LMN (ex LOFIMS), Insa Rouen Normandie

#### **Personnels permanents :**

- Frédéric Letacq, IDIT Rouen
- Gaëlle Bonjour, IDIT Rouen
- Valérie Bailly-Hascoet, IDIT Rouen
- Ludovic Couturier, IDIT Rouen
- Marion Hidalgo, IDIT Rouen
- Cécile Legros, IDIT Rouen
- Habib Abdulrab, LITIS INSA Rouen
- Mhamed Itmi, LITIS, INSA Rouen
- Abdelkhalak El Hami, LMN, INSA Rouen
- Jérôme Verny, MOBIS, Neoma BS

#### **Collaborateurs extérieurs :**

##### **Enseignants-chercheurs :**

- Alain Cardon (Pr, retraité)
- Nabil Hmina (Pr, ENSA Kénitra)
- Norelislam El Hami (Maitre assistant, ENSA Kénitra)

##### **Doctorants :**

- Ilyas Ed-daoui. Co tutelle avec le Maroc (ENSA de Kenitra). Bourse Battuta en 2017 ; Thèse soutenue en 2019 : « Towards systems of systems structural resilience assessment »; Co-directeurs en France : Abdelkhalak

El Hami (Pr, LMN, INSA), Mhamed Itmi (MCF HDR, LITIS, INSA) ; Directeur au Maroc : Hmina (Pr, ENSA Kénitra)

- Maria Zemzami. Co tutelle avec le Maroc (ENSA de Kenitra). Bourse Battuta ; Thèse soutenue en 2019 : « Variations sur PSO : approches parallèles, jeux de voisinages et applications » ; Directeur en France : Mhamed Itmi (MCF HDR, LITIS, INSA) ; Directeur au Maroc : N. Hmina (Pr, ENSA Kénitra), co-encadrant au Maroc N. El Hami (PA ENSA Kénitra).
- Anas Malas. Bourse du Liban ; Thèse soutenue en 2017 : « Contribution à la résolution du transport à la demande fondée sur les systèmes multi-agents » ; Directeur en France : Mhamed Itmi (MCF HDR, LITIS, INSA)

### 6.5.3 Restitution des études menées

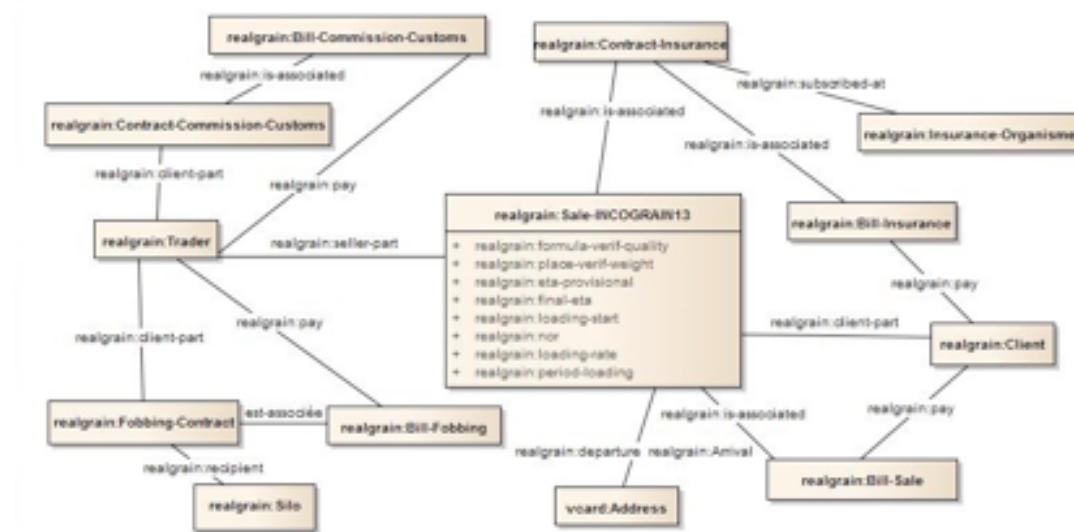
#### WP 1 : Analyse territoriale des systèmes logistiques

- Ontologie des systèmes logistiques sur un territoire (LITIS, LOFIMS)
- Collecte de données chiffrées, réalisation d'une base de connaissance et d'une cartographie des acteurs et des flux (MOBIS)
- Approche juridique et réglementaire des systèmes logistiques ; Collecte de données ; Audit de pratiques et des usages (IDIT)

#### Ontologie des systèmes logistiques sur un territoire (LITIS, LOFIMS)

Pour les deux laboratoires, cette étape a servi à la compréhension des systèmes logistiques sur un territoire en vue d'établir des relations avec les notions de tissu économique et la relation aux systèmes de systèmes.

Dans ce but, nous avons travaillé à comprendre l'activité dans le contexte de notre territoire en observant l'activité portuaire sur le GPMR, Grand Port Maritime de Rouen. Ainsi nous avons eu à reconsiderer le travail mené dans le cadre du projet RealGrain. La compréhension nécessitait une structuration des connaissances qui touchent au domaine des céréales. Cette structuration signifiait de travailler sur les ontologies du domaine.



## Exemple de contrat Incograin

Nous avons également mené une réflexion sur les approches distribuées à considérer, l'examen du comportement ou de la fiabilité de l'ensemble des données des différentes variables du modèle afin de prendre uniquement en compte les données les plus fiables ou procéder aux pondérations de chaque donnée d'entrée du modèle. Il faut tenir compte de la complexité du modèle, mesurer sa fiabilité et minimiser la propagation des erreurs. Nous avons alors prévu de considérer des indicateurs pour les systèmes de systèmes et d'indicateurs de performance pour la modélisation et la mesure de la fiabilité.

Avec l'aide de nos collègues de l'IDIT et de NEOMA-BS nous avons pu discuter de la notion de tissu économique et réfléchi à la manière de les aborder. Quoique complexe, l'approche d'un tissu économique comme un système de systèmes (SdS) était théoriquement envisageable ainsi que la recherche sur la fiabilité d'un tel système. La discussion pour la réalisation d'un démonstrateur a également été posée. Ces diverses reflexions issues du WP1 ont structuré la suite du travail du WP2 sur deux points principaux :

- A- Approfondir notre travail fondamental sur les SdS et l'appliquer à la notion de tissus économiques
- B- Etudier la réalisation d'un jeu sérieux

### **A- SdS et tissu économique**

Nous observons la compétitivité territoriale sous l'angle des systèmes de systèmes autonomes. Les divers systèmes y apparaissent comme des entités présentes pour des services qui leurs sont propres et qui sont les raisons de leurs existences propres mais qui ne sont pas des raisons de présence dans le système global en tant que tout. Le SdS ne doit pas être vu comme un système défini à priori. De plus, les systèmes qui y sont peuvent être nombreux et en évolution. Notre recherche porte donc en particulièrement sur les systèmes de systèmes, l'autonomie des systèmes et leurs fiabilités.

Nous faisons le parallèle avec la notion de territoire. Diverses institutions, entreprises et des personnes vivent dans un territoire, y coopèrent et évoluent chacun pour son propre compte mais dans le respect de règles principales juridiques qui assurent un certain « équilibre ». Par ces règles le système doit pouvoir évoluer avec l'apparition d'entités nouvelles dans le paysage du territoire ou la disparition d'entités existantes. Un point important visé est qu'on souhaite que cet ensemble « vive » sans être chaotique.

Le paradigme sous-jacent aux SdS est celui des systèmes distribués. Nous portons pour cela intérêt à de tels systèmes à des fins de modélisation et aussi dans un but calculatoire. De même nous pouvons être amenés à travailler sur des points de vue d'aide à la décision ou à des situations plus concrètes relevant de problématiques du transport ou de la logistique afin d'observer des comportements et les appréhender.

## B- Jeu sérieux

L'idée de partir sur un jeu sérieux qui met en relation Le LITIS et le LMN pour les aspects fondamentaux et de développement, NEOMA-BS pour l'aspect économique et l'IDIT pour les aspects juridiques est la plus appréciée. Cependant, outre la modélisation, elle nécessite un effort de prototypage informatique conséquent. Soit le jeu sérieux est très proche des SdS, soit on établit une distance en visant une granularité plus forte pour les entités à représenter. Le choix sera de toute façon un travail de recherche appliquée à part entière.

Il avait également été convenu que les travaux de thèse A. Malas seraient intégrés dans le projet au moins pour la raison de porter intérêt à un domaine, le transport à la demande, qui concerne les territoires. L'autre raison, plus fondamentale concerne le mode d'approche de ce transport : en s'appuyant sur les systèmes multiagents, le modèle s'inscrivait dans les systèmes distribués et servirait au niveau expérimental à l'étude des SMA.

De même, le travail de thèse de M. Zemzami participait à l'approfondissement des techniques de calcul d'optimisation dans des systèmes distribués.

Le travail de thèse de I. Ed-Daoui quant à lui concerne directement les SdS sur le fond en particulier sur les questions d'indicateurs et de fiabilité.

## ***Collecte de données chiffrées, réalisation d'une base de connaissance et d'une cartographie des acteurs et des flux (MOBIS – NEOMA BS)***

Notre travail tente d'apporter des éléments de réponse aux problèmes posés par la recherche d'une plus grande soutenabilité du système de transport de fret par le biais d'une analyse du lien entre la demande de transport de marchandises et l'économie. Une approche multiscalaire permettra d'approfondir les connaissances sur la compétitivité territoriale et la complexité des systèmes logistiques. Cette problématique dessine deux questions de recherche distinctes, chacune correspondant à un sens de la relation dialectique liant le transport et l'aménagement du territoire. La première question cherche à comprendre, via le triptyque production-transport-espace, la corrélation forte et positive depuis plusieurs décennies entre le transport de marchandises et l'activité économique des territoires traversés et desservis. La seconde question de recherche porte sur la faisabilité de rompre l'intensité du lien entre le transport de marchandises et l'économie afin de renforcer la compétitivité des territoires. La configuration spatiale des activités induit, pour un niveau donné de la production, un certain volume de transport. L'espace est donc au cœur de la problématique de ce travail de recherche puisque la demande de transport, substantiellement déterminée par les distances, est fonction de la croissance de l'activité économique qui favorise la polarisation géographique et l'éclatement spatial des unités économiques. L'évolution des logiques d'organisation spatiale des unités économiques, à partir des flux matériels émanant tant des sites de production que des entreprises de distribution, a un impact sur les caractéristiques de la circulation des marchandises. Il s'agit d'une

démarche combinant des données de localisation géographique et d'organisation industrielle. La concentration géographique et l'éclatement spatial ont marqué la géographie économique au cours de ces dernières décennies, en complément de mouvements de fret plus nombreux et plus fréquents. L'approche envisagée ici se focalise sur la relation entre les distances physiques parcourues et la consommation de transport pour une recherche d'une mobilité durable du fret, ce qui implique de s'intéresser aux critères de localisation des organisations logistiques dépendantes des activités industrielles et de distribution.

Dans la continuité du travail réalisé sur la précédente période au sein de ce projet XTERM, les équipes de recherché de MOBIS-NEOMA BS ont approfondi l'analyse du triptyque production/distribution, systèmes de transport et logistique, en relation avec la compétitivité territoriale. Depuis le milieu des années 1970, les pays développés ont connu une évolution rapide de leurs organisations productives et distributives dont une des conséquences a été la reconfiguration spatiale des activités. La localisation des agents impliqués dans la chaîne logistique globale, allant de la fourniture des composants primaires au produit fini proposé au consommateur final, s'inscrit dans cette tendance en raison de la complexification croissante des modes d'élaboration des produits et des variables d'optimisation économique mises en jeu dans ces processus. Au nombre de ces variables figurent bien entendu celles qui relèvent des progrès de la logistique eux-mêmes, qui tendent à élargir l'éventail des variables spatiales d'organisation : dans beaucoup de filières productives, l'échelle des aires d'approvisionnement et de distribution est devenue intercontinentale. La mondialisation<sup>4</sup> de l'économie a participé à l'essor des échanges en même temps qu'elle en est le résultat : il s'agit d'un processus auto-entretenu. Ce travail de recherche mené dans l'action 4 du projet XTERM s'appuie sur l'examen de trois hypothèses alternatives d'articulation entre la demande de transport de marchandises, les territoires et la distance physique. La première hypothèse considère que la mobilité des biens contribue à la dynamique économique mais s'accompagne aussi d'externalités négatives. L'approche du découplage du transport et de l'économie par la configuration spatiale des activités pose comme seconde hypothèse l'existence d'une relation entre les activités productives et distributives, le système de transport de marchandises et la localisation des firmes. S'intéresser aux logiques d'implantation spatiale des unités de production et de distribution, lesquelles étant toujours plus versatiles, implique une analyse de l'évolution des organisations logistiques qui en découlent. Quant à la troisième hypothèse, elle suppose que l'augmentation de la consommation des distances physiques et leur allongement participent au renforcement de la demande de transport de marchandises, donc justifient la corrélation entre la demande de transport de biens et l'économie. Par conséquent, étudier l'évolution des critères de localisation des unités économiques pourrait apporter des éléments de réponse quant aux choix à entreprendre pour découpler la demande de transport de marchandises de l'économie. D'autres approches complémentaires doivent être

---

<sup>4</sup> Le terme « mondialisation » caractérise une interdépendance prononcée entre les hommes, leurs systèmes politiques, économiques, sociaux, culturels et technologiques à l'échelle internationale.

analysées afin d'atteindre cet objectif, notamment en s'intéressant aux carburants alternatifs, aux schémas logistiques et aux systèmes d'information.

### **Approche juridique et réglementaire des systèmes logistiques ; Collecte de données ; Audit de pratiques et des usages (IDIT)**

La compétitivité territoriale ne résulte pas uniquement de la compétitivité sur le plan strictement socio-économique de la logistique. Les acteurs de la « Supply Chain » sont en effet confrontés à un certain nombre de contraintes juridiques qui obèrent leur développement dans un espace donné. Or ces freins juridiques / réglementaires sont rarement étudiés. La thématique de l'analyse économique du droit, importée des Etats Unis, n'a fait l'objet de développements par les chercheurs français qu'assez récemment.

Or, dans le domaine du commerce international, la question de la réception, de la perception de la règle par les acteurs économiques, français mais aussi étrangers, ne peut être occultée.

Le droit français, élaboré, parfois sophistiqué, protecteur de l'environnement ou certains acteurs, peut à cet égard constituer un frein au développement d'un territoire.

L'analyse de certaines réglementations fait apparaître que le gain pour un territoire est très négligeable au regard de l'obstacle qu'elles constituent pour les opérateurs économiques et des effets néfastes, non quantifiés et non évalués, qu'elles induisent sur l'environnement.

Le travail a été concentré sur la constitution de données et connaissances qui permettront de participer à l'élaboration des ontologies et aux réflexions sur les systèmes d'aide à la décision.

Des verrous réglementaires et juridiques ont été identifiés, sélectionnés et alimenteront les bases de connaissances :

- Incoterms ©
- Convention internationale CMR : Application différenciée dans les Etats membres de l'Union européenne des législations pourtant harmonisées (règlement, directives communautaires, conventions internationales),
- Procédures douanières

Ces données sont constituées de :

- Données juridiques :
  - Réglementation nationales, européennes et internationales
  - Jurisprudence (décisions de justice française, européenne (CJUE), étrangères
- Etudes de cas / Chaînes contractuelles et Transferts de risques-responsabilité :

- Logistique des céréales
- Export de véhicules
- Export de cosmétiques

Elles sont traduites sous forme de schémas basées les relations contractuelles des acteurs des chaînes logistiques (Figure 1).

Elles alimentent les travaux sur les ontologies des chaînes logistiques et l'élaboration d'un jeu sérieux (Figure 2) .

## EXPORT FR VO

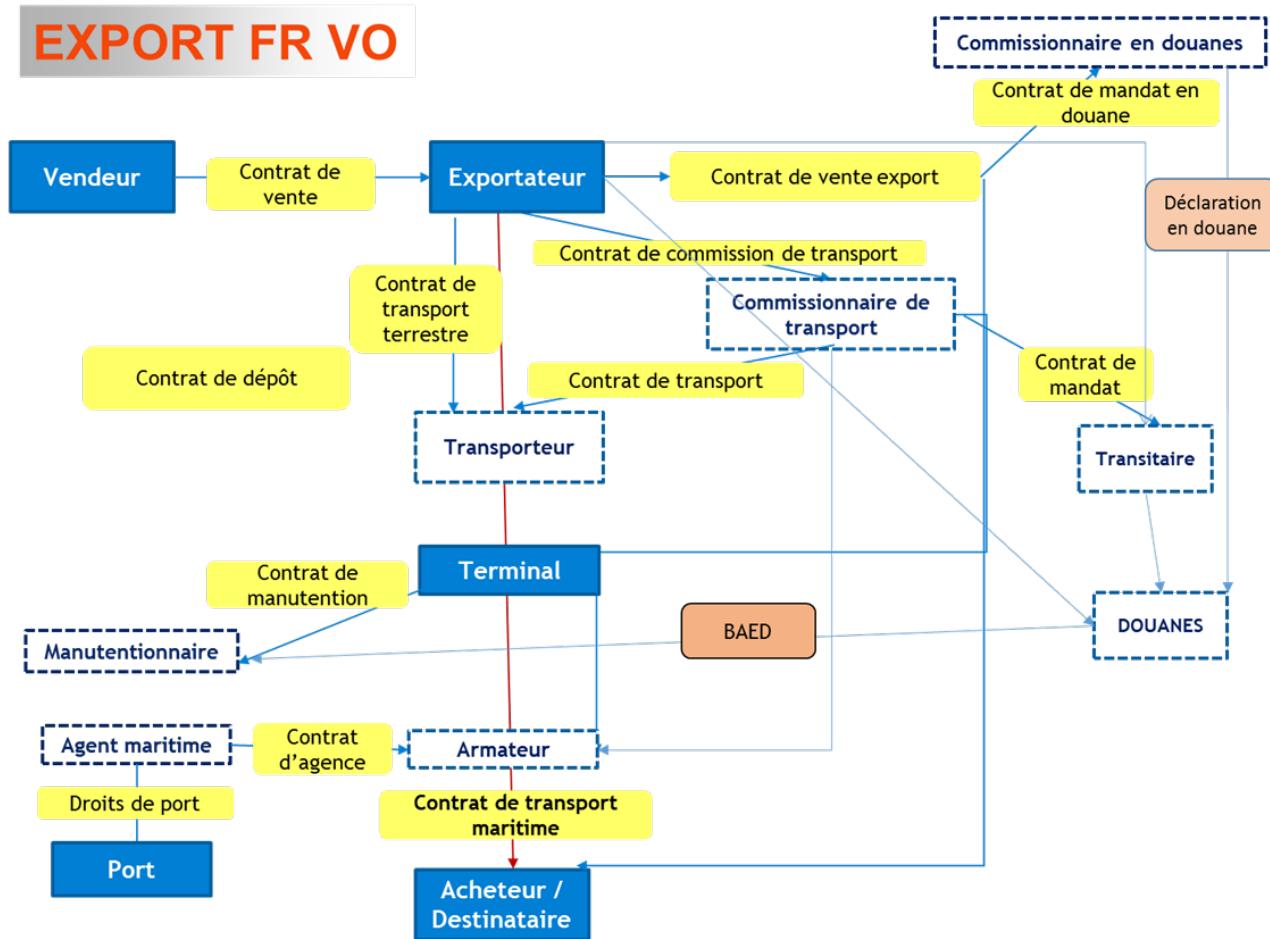


Figure 1

Etablissements de jeux de règles régulatrices : Données et interactions

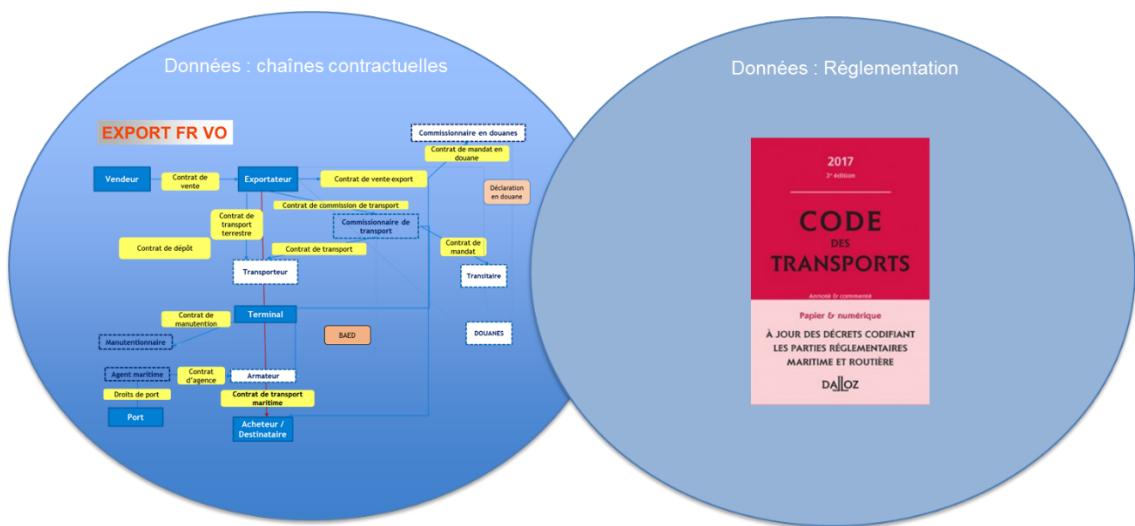


Figure 2

## **WP 2 DEVELOPPEMENT DU PROTOCOLE ET DE L'OUTIL DE MODELISATION**

- Bilan des données et informations à structurer (MOBIS)
- Analyse des mesures incitatives publiques (IDIT)
- Analyse des réglementations, jurisprudence et pratiques les plus impactantes (IDIT)
- Benchmarking des pratiques (MOBIS)
- Modélisation d'un tissu économique comme un système de systèmes. Recherche sur la fiabilité d'un tel système. (LITIS, LOFIMS)
- Etude sur les indicateurs de performance pour la modélisation et la mesure de la fiabilité. (MOBIS)
- Examiner le comportement/la fiabilité de l'ensemble des données des différentes variables du modèle afin de prendre uniquement en compte des données les plus fiables ou procéder à des pondérations de chaque donnée d'entrée du modèle à l'aide de méthodes géostatistiques ou statistiques ; (LITIS, LOFIMS)
- Tenir compte de la complexité du modèle, mesurer sa fiabilité et minimiser la propagation des erreurs ; (LITIS, LOFIMS)
- Au niveau des résultats, il s'agira de vérifier leur crédibilité à l'aide d'études de terrain. (MOBIS)
- Déterminer un ensemble de fondements des logiques organisationnelles et opérationnelles. (MOBIS, IDIT)

MOBIS-NEOMA :

Le laboratoire MOBIS a participé dans ce WP2 à structurer le protocole pour la mise en place d'un outil de modélisation. Un important travail de terrain a été mis en place afin de compléter les données chiffrées traitées dans le WP1 avec la réalité perçue par les acteurs économiques. Ce travail d'enrichissement de la connaissance a été fait par le biais d'interviews sur les sites de production, sur les plates-formes logistiques, mais également lors de réunions avec des entreprises dans nos locaux, généralement sur notre campus de NEOMA Paris. La participation à des séminaires internes dans des entreprises, à des conférences professionnelles, etc., a été un élément important pour toujours mieux s'imprégner de la réalité du monde économique en termes de critères d'aide à la décision en matière d'implantation pour ensuite élaborer un outil de modélisation avec nos collègues du LITIS et du LOFIMS. La stratégie mise en place lors de la rencontre des acteurs économiques était de se focaliser sur les générateurs de flux sur ou à proximité de la vallée de la Seine. Dès lors, des déplacements ont eu lieu généralement dans la zone de chalandise délimitée approximativement par les villes de Lille, Reims, Orléans, Le Mans, Cherbourg, Le Havre. Les grands noms de la logistique ont été rencontrés (XPO, ID Logistics, GEFCO, Géodis, K+N, etc.). Cette démarche empirique, par la multiplication des échanges avec les acteurs économiques générateurs et/ou organisateurs et/ou gestionnaires de la demande de transport de fret, est essentielle dans notre méthodologie de recherche afin de mieux comprendre la corrélation entre l'évolution de l'activité économique sur un territoire, la demande de transport et le type de systèmes logistiques mis en place.

La méthode scientifique employée dans ce travail de recherche consiste à mettre en place une démarche hypothético-déductive à partir des trois hypothèses mentionnées précédemment. Les méthodes d'analyse utilisées sont à la fois qualitative et quantitative. Dans un premier temps, une analyse bibliographique a été complétée afin d'expliquer les tenants et aboutissants des critères de localisation des activités économiques ayant un impact sur la demande de transport de marchandises. Cet état de l'art a été complète, comme évoqué précédemment, par la collecte de connaissance directement auprès des acteurs économiques concernés, lors de rencontres réalisées sur leur lieu de travail ou lors de réunions professionnelles, de séminaires internes et de conférences non-académiques. L'ensemble de ces connaissances précieuses conforte notre approche en recherche appliquée visant à rapprocher le monde académique du monde professionnel agissant en transport, logistique et supply chain.

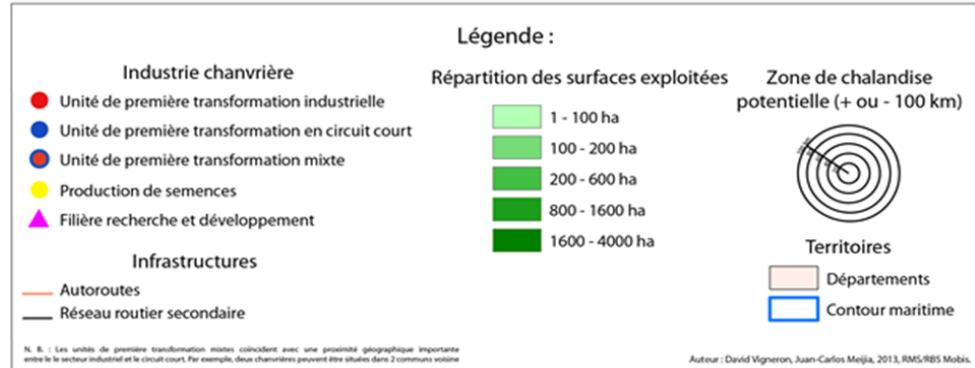
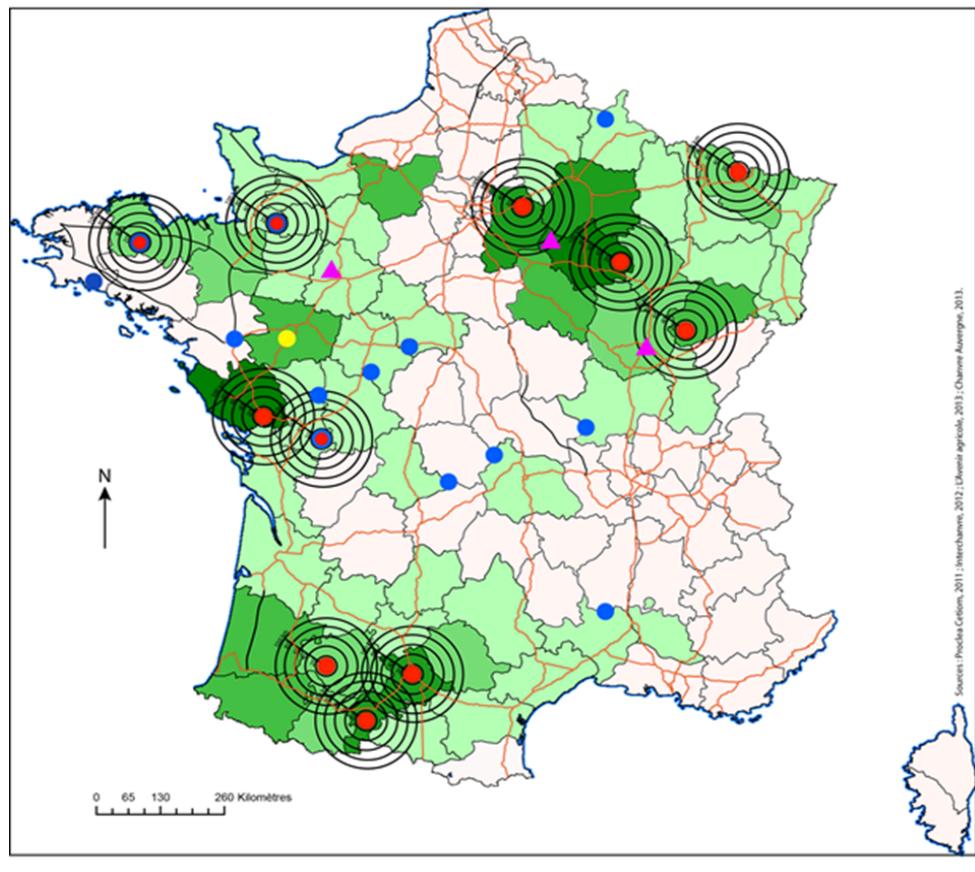
L'existence de statistiques, leur représentativité, leur fiabilité, la difficulté de leur obtention, mais encore l'évolution des modes de collecte selon les pays, sont des paramètres pris en compte lors de la délimitation des périodes associées à celles des territoires. Notre travail des statistiques a permis de s'affranchir de l'inexistence ou du manque de fiabilité de certaines sources relatives à la quantification de la demande de transport de marchandises et à son impact sur l'économie et l'environnement. Les méthodes et outils d'analyse quantitative utilisés ici reposent sur des agrégats nationaux dont les interdépendances sont déterminées empiriquement, l'objectif étant de mettre à disposition des résultats qui puissent être comparés avec d'autres études de cas sur l'analyse de la relation entre la demande de transport de marchandises et l'économie. Les résultats issus de la construction de bases de données chiffrées exploitables complètes des connaissances collectées auprès des professionnels éclairent les choix à entreprendre dans la définition d'indicateurs de performance pour la modélisation et la mesure de la fiabilité des systèmes productifs et distributifs sur la vallée de la Seine. Ces résultats pertinents restent néanmoins à considérer comme de simples ordres de grandeur en raison de toutes les limites posées autour de l'harmonisation de la méthodologie de collectes des données. Quant à l'étude empirique de la demande de transport de marchandises et de l'économie, elle repose ici sur une approche réalisée à partir de familles de produits et de classes de distances. Toutefois, cette source d'informations en provenance des entreprises présente plusieurs limites à commencer par la comptabilité des flux de marchandises, certes nationaux, mais aussi uniquement sur la partie de la chaîne de transport international réalisée en France. Par voie de conséquence, l'analyse faite des données chiffrées utilisées en tonnes-kilomètres et en tonnes ne reflète qu'indirectement l'internationalisation des échanges sous l'angle de la distance. Cependant, l'analyse comparée des tonnes et des tonnes-kilomètres permet de mesurer l'évolution des distances physiques consommées, ce qui offre un élément supplémentaire de compréhension du système de transport de marchandises utile tant aux acteurs économiques, qui adaptent leurs stratégies de localisation de nouveaux sites de production, qu'aux institutionnels, qui cherchent à améliorer leur politique d'aménagement du territoire.

Parmi les différentes approches visant à explorer la relation de causalité entre la demande de transport de marchandises et l'activité économique des territoires desservis et/ou traversés, celle s'intéressant à la consommation de distances physiques n'a pas encore fait l'objet de développements approfondis. La distance possède un réel pouvoir d'organisation de l'espace par l'interaction plus ou moins forte qu'elle insère entre les éléments. Cet outil géographique est utilisé comme objet de recherche dans ce travail sur l'analyse de la demande de transport de marchandises dans son lien avec l'aménagement et l'organisation des territoires. La distance physique est-elle l'élément principal dans l'explication de la corrélation forte et positive des tonnes-kilomètres et du PIB ? Chercher à rompre le lien entre les indicateurs de la demande de transport de fret et de l'économie est une action qui peut donc être envisagée au travers d'une analyse de l'évolution de la consommation des distances physiques dans la chaîne de transport globale. P. NIJKAMP est l'un des initiateurs de cette réflexion évoquée dans une communication au colloque organisé dans le cadre du projet européen SPRITE - Separating the Intensity of Transport from Economic Growth - à Rome en 2001. Son approche de la mobilité durable préconise quatre types de transformations : technologique, institutionnelle, structurelle et spatiale de la production et de la consommation. Concernant la transformation spatiale, P. NIJKAMP considère qu'elle doit impliquer des changements de localisation du tissu productif et distributif dans le but de maîtriser les distances physiques consommées. En effet, l'évolution des organisations logistiques mises en place par les industriels et les distributeurs laisse présager depuis plusieurs décennies une augmentation des distances parcourues. Le Conseil Général des Ponts et Chaussées a publié en 2003 un rapport intitulé « Le développement des implantations logistiques en France et ses enjeux pour les politiques d'aménagement », lequel étaye l'idée d'une croissance des distances parcourues dans la chaîne logistique globale. Dans la partie « Réflexions autour du développement durable », ce document propose quelques pistes pour envisager de porter atteinte à la génération des flux, notamment en se focalisant sur la distance qui peut justifier de besoins croissants en transport de marchandises. La croissance des volumes transportés - dont la distance est l'une des composantes - profite aussi à la route, ce qui va à l'encontre des objectifs de la mobilité durable. D'où l'intérêt porté aux approches visant à la recherche des voies et moyens permettant de réduire l'impact sociétal négatif du transport sans nuire à la croissance de l'activité économique. Agir sur les distances parcourues en vue de maîtriser la demande de transport de marchandises revient à évaluer les possibilités d'action dans le champ de l'aménagement spatial des firmes et/ou des organisations logistiques. Cette recherche d'une limitation de la demande de transport implique des innovations soutenues par la puissance publique sur le volet logistique des industriels et distributeurs et sur le volet des stratégies d'implantation géographique des firmes afin de limiter la dépendance à la distance.

Plusieurs filières ont fait l'objet d'une analyse approfondie dans le cadre de cette action n°4 du projet de recherché Xterm. La rencontre de nombreux acteurs économiques sur les sites industriels, dans les plates-formes logistiques, a permis de collecter d'importantes données qualitatives venant enrichir la base de connaissance sur les filières potentiellement génératrices de compétitivité pour la Vallée Seine. Prenons l'exemple de la filière des biomatériaux, pour laquelle les

enjeux et les perspectives socio-économiques sont majeurs dans l'écosystème de ce territoire.

L'exploitation des ressources végétales en biomatériaux s'inscrit dans un contexte environnemental favorable et permet de renforcer la dynamique engagée par l'ensemble des acteurs de la filière. « Le développement de la filière française des biomatériaux passe par une meilleure structuration des acteurs » [Commissariat général au Développement Durable, 2010]. Le ministère français en charge de la transition écologique et solidaire accorde une place importante à l'avenir de la filière Matériaux de Constructions et Bioressources, venant conforter notre perception acquise via notre démarche hypothético-déductive. Par exemple, il est essentiel dorénavant de structurer la filière, par exemple autour du chanvre, ou du miscanthus. Des branches des filières – tel que celles du lin, des céréales, du maïs, de la construction en paille ou de la chimie du végétal - tendent à se regrouper pour répondre à ces nouveaux impératifs de compétitivité. À titre illustratif, la filière Bâtiment développe un ensemble de projets de plates-formes structurelles et technologiques réparties sur le territoire français. Aussi, l'ADEME, au travers de nombreuses études, a entrepris une mission d'information auprès des industriels pour rendre visible la ressource disponible. Dans la continuité, l'ADEME a décidé ces dernières années d'engager une étude sur la disponibilité et l'accessibilité des fibres végétales à usages matériau en France. Dans le contexte de morosité économique actuel, la nouvelle stratégie du gouvernement français s'est axée sur le « produire français ». Les filières agro-industrielles régionales, telles que le lin, peuvent être valorisées. Aussi, les filières économiques dominantes d'application des matériaux plastiques (transport, emballage, bâtiment, etc.) doivent faire face à une augmentation croissante de la demande pour améliorer la qualité de l'environnement. Le changement de ces produits par les biomatériaux est un moyen permettant de protéger l'environnement ou de créer des emplois notamment en milieu rural. Issus des produits et sous-produits des céréales (amidon, gluten), oléagineux et protéagineux (protéines) ainsi que des plantes fibreuses (cellulose), ils permettent de fabriquer des biopolymères (films et emballages), des agro-matériaux composites (revêtements, garnitures d'automobiles, isolants, etc.). Le choix stratégique de la mise en place de clusters pour les biomatériaux utilisés par de nouvelles entreprises souhaitant s'implanter sur le territoire de la Vallée de Seine pourrait se faire en intégrant les acteurs du transport et de la logistique.



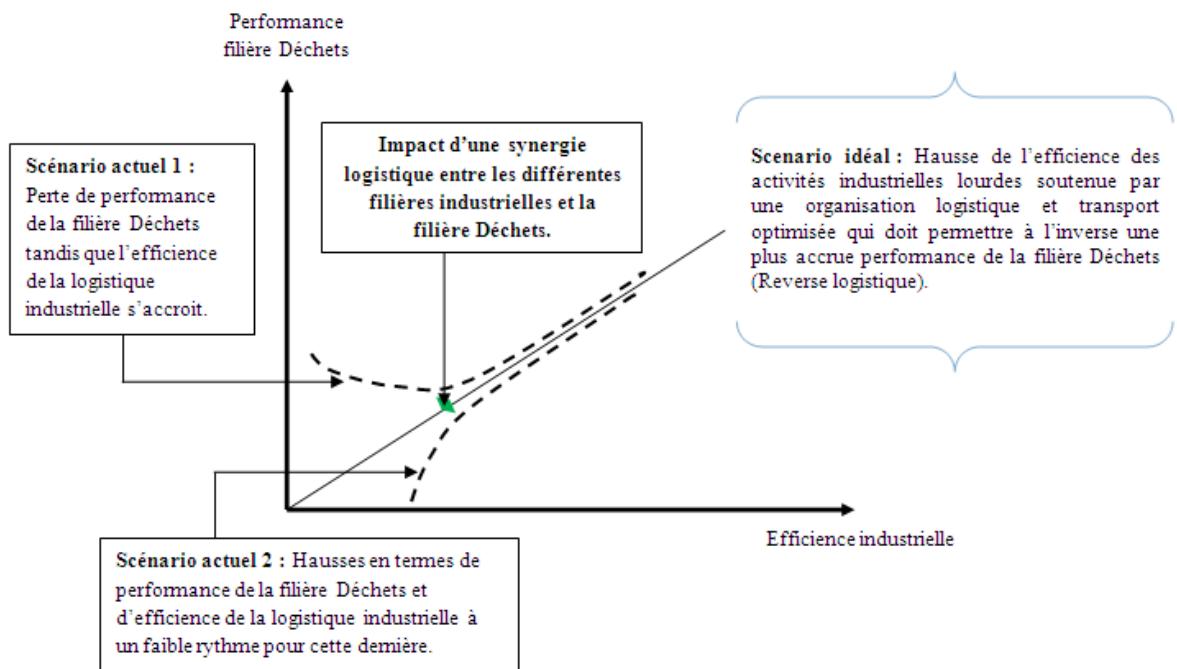
## **La production chanvrrière en France**

Auteur: MOBIS-NEOMA BS

Pour ce faire, il apparaît important (i) d'assurer la mise à disposition d'informations sur l'ensemble de la filière, (ii) de mettre en place un audit des entreprises déjà installées ou souhaitant s'y implanter et (iii) de soutenir la création d'une plate-forme logistique dédiée en améliorant l'imposition ou encore les possibilités d'obtention d'aides aux entreprises. Par ailleurs, il s'agit aussi d'opérer des choix stratégiques et d'aiguiller les politiques de la filière en fonction des informations acquises. L'analyse de l'avènement et de la structuration des filières agro-industrielles et biomatériau dans la Vallée de Seine par le biais des « stakeholders » en logistique semble indispensable. Associer les acteurs, maximiser les moyens disponibles, encourager l'innovation devraient contribuer au développement de ce

territoire inter-régional. La mise en relation des professionnels de la filière et l'amélioration de l'accès aux ressources agricoles pour les entreprises industrielles intéressées par le développement des produits à base d'agro-ressources devraient permettre de faire émerger un réseau de professionnels spécialisés interrégional et la création d'une filière des biomatériaux dans la Vallée de la Seine intégrant les coûts indirects émanant du transport et de la logistique.

Mais quelles sont les impacts territoriaux d'une organisation de type reverse logistique concernant la gestion et la valorisation des déchets industrialo-ménagers ? Composée d'un large éventail d'entreprises intervenant dans des domaines d'activités variés et complémentaires (1 584 établissements, qui emploient 25 000 salariés), la filière déchets localisée sur le territoire de la Vallée de Seine détient de véritables atouts pour dynamiser le tissu économique, l'emploi, et valoriser le savoir-faire logistique sur ce territoire. Les acteurs de cette filière couvrent un large éventail de savoir-faire leur permettant de traiter des déchets de diverses natures: les déchets d'activité, les déchets dangereux, les déchets de soins à risques infectieux, les déchets d'équipements, électriques et électroniques, les déchets du Bâtiment et des travaux Publics, les déchets ultimes, les déchets verts, etc. De ce fait, le développement de l'éco-conception par les entreprises privées dans le but de limiter le gâchis de matière devrait faciliter le recyclage pour les produits à venir. Un effort renouvelé dans l'optimisation de la collecte et du transport de déchets via (i) des actions en transversalité avec la filière logistique, (ii) le déploiement des modes alternatifs au transport routier et (iii) le développement des lieux d'apport volontaire de proximité sont des enjeux locaux de premier ordre. Dans l'optique de valoriser l'activité résiduelle des industries de la vallée de Seine, des solutions semblent perceptibles dans la transversalité avec la filière logistique, notamment la *reverse logistic*. D'une part, les transports doivent être optimisés dans les deux sens, c'est à dire éviter des retours à vide trop onéreux sur le plans financier et écologique. Par ailleurs, les consommateurs de même que les industriels doivent être incités à (i) optimiser leur production de déchets et (ii) s'inscrire dans des dynamiques de tri, de conditionnement et de collecte mieux adaptées aux exigences des acteurs de la filière déchets. L'organisation de la reverse logistique des territoires de la vallée de Seine devra permettre d'accroître la compétitivité de la filière déchets en parallèle ou en soutien aux autres filières industrielles. En effet, sur la base d'interviews menées auprès des entreprises déjà installées ou souhaitant s'implanter sur la vallée de Seine, notre travail a consisté à déterminer les besoins actuels en termes de (i) création de plates-formes logistiques dédiées, (ii) adaptation du système d'imposition aux particularités de cette filière dont la matière est le pendant des produits industriels divers. L'analyse de cette problématique peut être menée dans un cadre de modélisation intégrant des outils de statistiques descriptives usuels tels que l'Analyse Factorielle des Correspondances couplés aux techniques d'étude de séries temporelles, soit au final un cadre de modélisation Factor Augmented - Vectorial Auto-Regressive (FA-VAR). Par ailleurs, il pourrait être intéressant de faire appel à certains développements en imagerie informatique tel que l'Analyse procrustéenne permettant d'estimer des coefficients d'ajustement d'images (implantations des acteurs des différentes filières industrielles de base et les unités de la filière déchets sur le territoire de la Vallée de Seine).



### Impacts territoriaux et industriels de l'intégration de la filière déchets

Auteur: MOBIS-NEOMA BS

Notre travail a donc permis de (i) mieux comprendre comment favoriser l'avènement et la structuration de l'ensemble des filières industrielles et la filière déchets en bout de chaîne sur le territoire de la Vallée de Seine ; (ii) et de rechercher les solutions pour optimiser le tri, la collecte, le stockage et le transport de déchets ainsi que de développer les technologies de valorisation des déchets et (iii) et de préparer la réflexion quant à la création d'une synergie territoriale entre la filière déchets et les filières industrielles dans le cadre de la reverse logistic.

Au-delà de ces résultats, l'action de MOBIS dans ce pan du projet Xterm a consisté à mettre en relation des professionnels des différentes filières et à proposer des pistes d'amélioration de la circulation des déchets industriels pour les entreprises de la filière mais aussi de stimuler le déploiement des modes alternatifs au transport routier permettant de décongestionner les réseaux routiers (notamment l'A13 et l'approche du marché parisien) et de limiter les pollutions atmosphérique, sonore et visuelle. Par ailleurs, l'atteinte de ces divers enjeux devrait permettre de tisser un réseau de professionnels spécialisés interrégional voir intercommunal sur l'axe Seine afin d'initier des pistes de proposition de réorganisation territoriale visant l'efficience synergique entre les diverses filières industrielles de la vallée de Seine.

A cette étape, diverses actions ont été menées entre les chercheurs du projet et ont été concrétisées par des publications de recherche.

En premier lieu, la longue réflexion fondamentale que nous avons menée sur divers types de systèmes (adaptatifs, autonomes, SdS, etc.) nous a permis de définir un

modèle général, nouveau, pour les systèmes autonomes. Ce modèle, fruit de plusieurs années de recherche, est construit principalement sur la base de systèmes multiagents massifs. La présentation de ce travail a été faite dans des congrès, publications ou ouvrages.

Nous avons également travaillé sur la question d'optimisation des calculs en exploitant des heuristiques et le parallélisme. Cette question a été étudiée et évaluée dans le cadre de la thèse de Mme Maria Zemzami. Dans ce travail nous avons examiné la manière de mener efficacement des calculs répartis sur plusieurs processus légers (threads) dans un contexte d'optimisation. L'expérimentation a été menée entre le LITIS-INSA et le LOFIMS dans un contexte d'optimisation et les résultats montrent le progrès réalisé et qui a été publié. L'étude du modèle de calcul a été poursuivie dans un but d'abstraction et de distribution.

La modélisation et la simulation de systèmes distribués sur le paradigme multiagent sont expérimentés dans le cadre du transport à la demande. Nous y avons contribué par les travaux que Mme A. Malas a mené dans sa thèse de doctorat.

Le LITIS-INSA a poursuivi l'approfondissement des connaissances sur la notion de tissu économique en refondant un modèle initial (développé par nous-mêmes antérieurement). Il prend la forme d'une sorte de jeu sérieux, distribué. Son étude avec l'aide de l'IDIT et de MOBIS, s'appuie sur la notion de tissus économiques à modéliser et simuler dans leurs dynamiques. Un système superviseur du réseau joue à la fois le rôle de centre d'information et de régulateur de l'éco système (ressources du projet : un stagiaire ingénieur : M. Sun Aiwei).

L'approche du tissu économique comme un SdS amène aussi à travailler sur la fiabilité de ces systèmes et sur leur résilience. Ce «système de systèmes» est composé d'entités multi-physiques, distinctes, hétérogènes, travaillant avec autonomie et qui sont mises en communication pour un objectif commun. De plus, une défaillance d'un nœud peut provoquer une altération du processus ou même endommager l'ensemble du système dans certains cas. La thèse de I. Ed-Daoui se focalise sur ce sujet du fait de son importance. La mesure des incidents, des défaillances et des dysfonctionnements est un élément essentiel de la mesure du processus de développement, d'essai et d'exploitation des systèmes de systèmes.

Dans le contexte des systèmes de systèmes, le concept de résilience est plus difficile à interpréter. La résilience est définie comme la capacité du système à résister à une perturbation tout en gardant les paramètres de dégradation acceptable pour le système ainsi que la possibilité de se remettre dans l'état normal dans un délai, coûts des composants et risques acceptables.

D'après notre étude, les vulnérabilités et les perturbations sont les sources potentielles de leur mauvaise conduite. Afin d'améliorer la robustesse il nous faut faire appel à deux éléments primordiaux : la définition d'une stratégie de minimisation du taux d'échec du système et l'élaboration d'une politique du

rétablissement du système après chaque défaillance. Ce travail a été approfondi dans le cadre de la thèse en co-tutelle de I. Ed-Daoui.

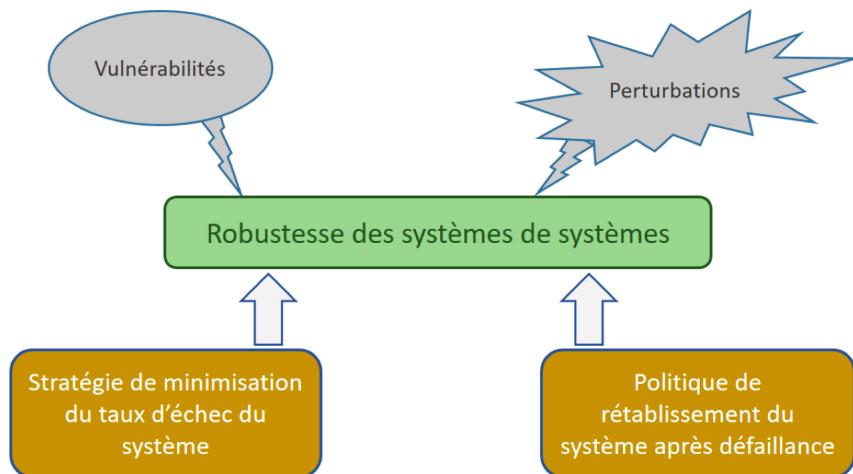


Figure : modèle proposé pour l'amélioration de la robustesse

La suite du travail se distingue par l'avancée sur deux voies : l'une plutôt fondamentale et la seconde s'orientant plutôt sur des aspects appliqués.

Dans le point de vue fondamental, nos avancées ont essentiellement concerné la fiabilité des SdS et les techniques de calcul relatives au parallélisme et au distribué. Nous avons pu dégager une précision de cette notion dans le cadre de la thèse de M. Ilyas Ed-Daoui. Dans l'étude de la gouvernance de la fiabilité des SdS, nous distinguons :

- L'analyse de la vulnérabilité du système,
- L'analyse de sa robustesse,
- L'analyse de ses interdépendances,
- La gestion des menaces,
- L'administration de la sécurité,
- L'analyse de la disponibilité,
- Et, enfin, le contrôle des émergences.

Ces divers points ont été approfondis pour être publiés. Nous avons estimé nécessaire d'examiner la question de la sécurité des réseaux : ce travail a été mené avec le post-doctorant (M. Ouchenne Boularès).

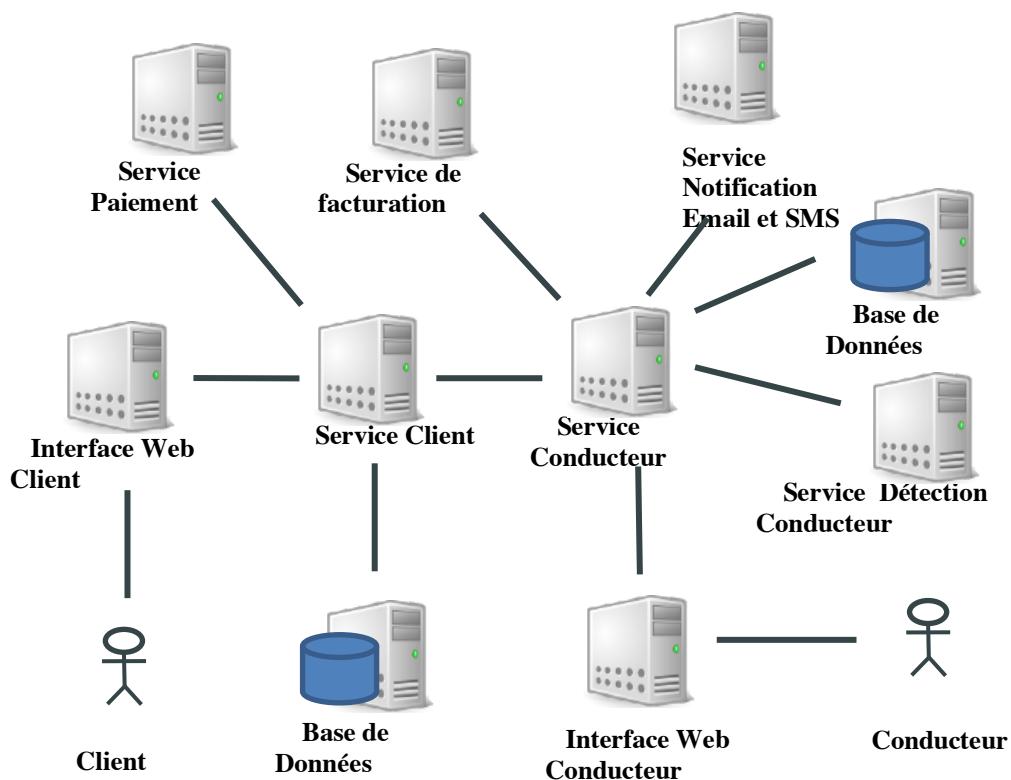
La voie orientée vers les applications est celle où nous développons des systèmes concrets que nous expérimentons. Ces systèmes sont des vues parcellaires ou des fragments de ce qui serait plus tard un SdS correspondant à une situation concrète (plutôt dans le cadre d'un jeu sérieux). Ces fragments concernent les réseaux et les nœuds de ces réseaux. Cela est dû à l'évolution des technologies, car si nous focalisons sur des systèmes distribués, leur implémentation dans une situation concrète peut être envisagée de diverses manières :

- Au niveau le plus bas, nous trouverons des technologies du type RMI, CORBA, etc.
- La technologie orientée composants est à un niveau plus élevé que la précédente. Ici, chaque composant est un maillon d'un ou de plusieurs

processus métier. Les composants interagissent les uns avec les autres en échangeant des données. Dans la technologie autour de Java nous trouvons plusieurs « frameworks » tels que Struts, EJB, Spring, etc.

- Il y a également la technologie orientée services. Elle permet de décomposer une fonctionnalité en un ensemble de fonctions basiques, appelées services, fournies par des composants et de décrire finement le schéma d'interaction entre ces services. C'est le cas de l'architecture orientée web services. Les services Web fournissent l'interopérabilité entre divers logiciels fonctionnant sur diverses plates-formes.

Ce travail d'étude est très technique. Nous l'avons mené avec un ingénieur (M. Mohamed Amine-Daoud).



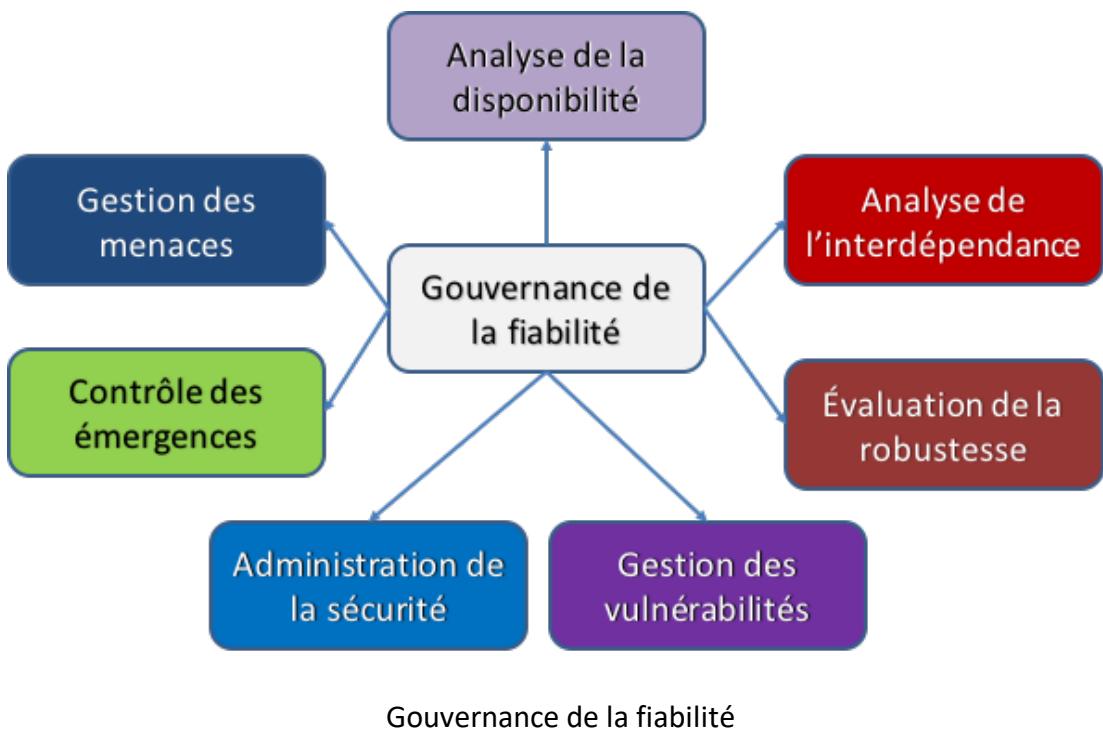
Exemple d'architecture micro-service

Parmi les domaines d'expérimentation, nous travaillons sur la notion de jeu sérieux en vu de représenter la dynamique (plutôt économique) d'un territoire. Nous avions également considéré la question du transport pour étudier cette dynamique dans un volet plutôt orienté vers la mobilité que vers la logistique (travail de la doctorante Mme Anas Malas). La figure ci-dessus décrit la décomposition d'une application de transport à la demande selon une approche micro-service.

Les diverses études mentionnées ont menées avec une certaine indépendance. L'avancée du projet a nécessité leur regroupement progressif. Pour cela, nous avons acquis dans le cadre du projet un système matériel en vu de la virtualisation des

divers réseaux et systèmes de calcul. Ces tâches fortement techniques ont été en partie menées par des stagiaires.

Durant la dernière période, le travail de la doctorante Anas Malas a abouti (thèse soutenue). Ce travail portait sur les questions de mobilité (transport à la demande). Le travail sur l'optimisation par un algorithme heuristique (PSO) selon une approche parallèle est poursuivi (communications de la doctorante Maria Zemzami). Nous avons approfondi notre travail théorique sur les systèmes de systèmes grâce à la collaboration des laboratoires LITIS et LMN et au travail du doctorant Ilyas Ed-Daoui. Ce travail est une continuation de la gouvernance de la fiabilité. C'est ainsi que nous avons focalisé sur la résilience des systèmes de systèmes.



Vers des systèmes de systèmes robustes (issu de notre article):

La mesure des incidents, des défaillances et des dysfonctionnements est un élément essentiel de la mesure du processus de développement, d'essai et d'exploitation des systèmes de systèmes. Ce soi-disant «Systèmes de Systèmes» est composé d'entités multi-physiques, distinctes, hétérogènes, travaillant avec autonomie et qui sont mises en communication pour un objectif commun. De plus, une défaillance d'un nœud peut provoquer une altération du processus ou même endommager l'ensemble du système dans certains cas.

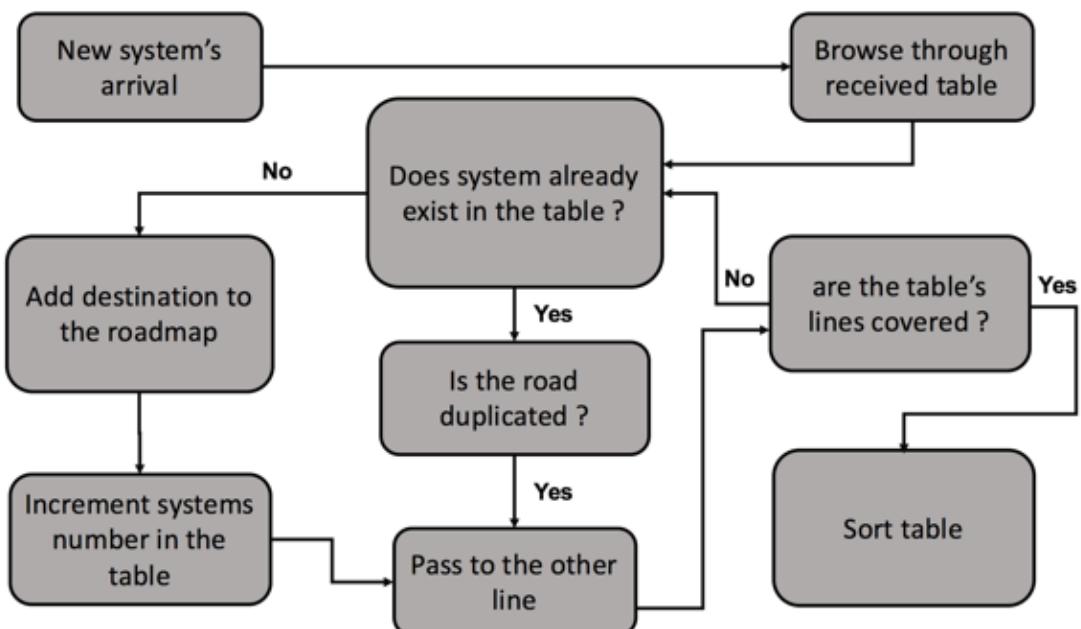
Dans le contexte des systèmes de systèmes, le concept de résilience est plus difficile à interpréter. Elle est définie comme la capacité du système à résister à une perturbation tout en gardant les paramètres de dégradation acceptable pour le système ainsi que la possibilité de se remettre à l'état normal dans un délai, coûts des composants et risques acceptables. Par conséquent, si un événement aléatoire se produit à un moment donné, la résilience représente la capacité du système à résister et à se rétablir.

La résilience, ou la robustesse, concerne les conséquences en cas de perturbations et d'incertitudes associées. Nous disons que le système est résilient si le système peut faire face à des perturbations et revenir rapidement au comportement normal. De plus, le niveau de résilience d'un système est directement lié à la maîtrise de l'émergence.

Il existe plusieurs méthodes pour aborder la résilience : nous pouvons considérer la résilience comme une quantité fixe pour le système. Cette approche est limitative parce que dans le contexte des systèmes de systèmes nous ne parlons pas d'un système fixe avec des attributs fixes (nous entendons ici les composants systèmes, les services ...), au contraire on parle souvent d'un système multi-phérique muni d'une architecture instable. Par contre, la seconde approche la considère comme une variable aléatoire, en particulier pour les systèmes modifiant leur architecture, leur environnement et leur composition.

Dans l'article concerné, le problème de la robustesse des systèmes de systèmes a été abordé en essayant de le contrôler de sa source. Cette source peut être externe ou interne, ici nous parlons des perturbations ou des vulnérabilités qui peuvent mettre le système en péril. Et pour gérer leurs éventuelles conséquences nous proposons d'établir une stratégie de minimisation du taux d'échec du système et l'élaboration d'une politique du rétablissement du système après chaque défaillance.

Le travail sur les réseaux pair-à-pair a permis d'améliorer l'activité sur un tel réseau (communication « Unstructured Peer-to-Peer Systems: Towards Swift Routing »). Ce sont les méthodes de routage dans un réseau qui ont attiré notre attention. Nous avons proposé une approche qui permet aux divers intervenants sur un tel réseau de disposer des informations qu'il faut de telle sorte que les routages soient plus performants. Grâce à des simulations nous avons montré l'amélioration attendue. Ce travail sur les réseaux a donc été poursuivi à bas niveau (réseaux P2P)



Gestion de la table de routage dans un réseau pair-à-pair

## Sécurité dans les réseaux :

La sécurité des infrastructures et des systèmes de systèmes est une préoccupation majeure dans tous les domaines de notre vie quotidienne. Le processus systématique pour construire de tels systèmes commence par une étape d'analyse des risques pour identifier les ressources critiques, ensuite, déterminer les menaces et les vulnérabilités, évaluer les risques et définir une politique de sécurité pour faire face aux risques inacceptables. La spécification et l'analyse de la politique de sécurité sont la clé de l'assurance de systèmes de systèmes. Une politique de sécurité correspond généralement à un ensemble de règles (permissions, interdictions et obligations) spécifiant comment les informations sensibles et les autres ressources sont gérées, protégées et distribuées dans le système contrôlé par cette politique.

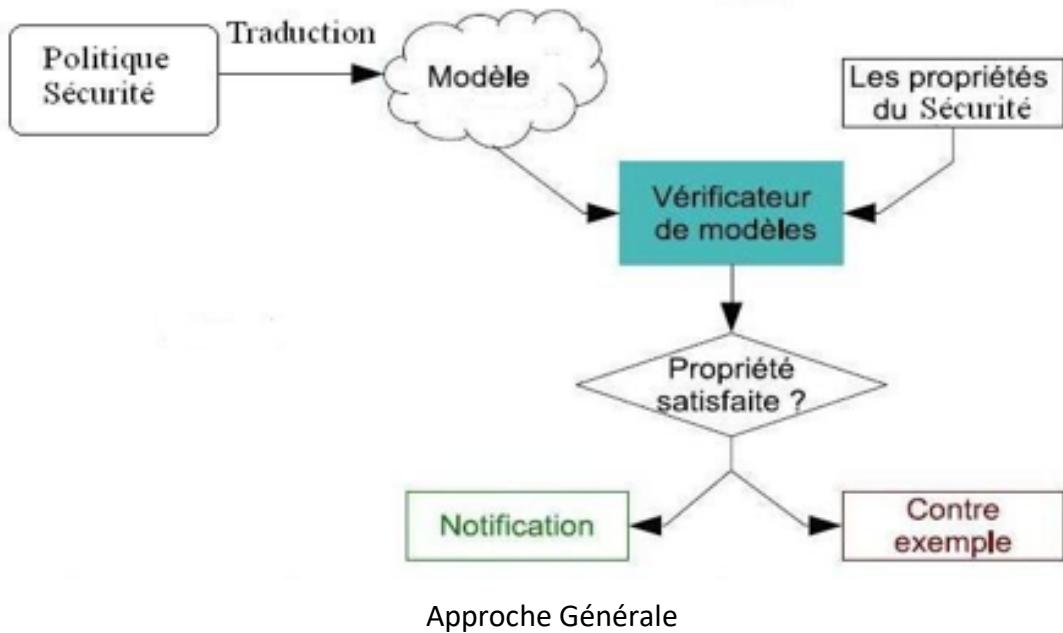
Les premiers modèles proposés ne s'intéressent qu'à la problématique du contrôle d'accès, et ils ne considèrent que des priviléges simples (des permissions et des interdictions) sur des actions élémentaires. Ces modèles sont capables de faire appliquer les exigences de sécurité appropriées au moment de l'accès. Par exemple, les utilisateurs connectés à un réseau donné sont autorisés à lire un document confidentiel si et seulement si, ils ont été déjà authentifiés. Cependant, ces mécanismes ne peuvent pas contrôler la façon dont le document peut ou ne peut pas être utilisée après l'obtention de l'accès. Par exemple, une ressource donnée doit être libérée après 10 minutes de possession.

Récemment ce type d'exigences qui correspondent à des obligations a été également mis en œuvre. Les modèles qui considèrent les obligations, sont utilisés pour spécifier les exigences du contrôle d'usage.

Le contrôle d'usage est une extension du contrôle d'accès qui contrôle non seulement qui peut accéder à quelle ressource, mais aussi comment la ressource peut ou ne pas être utilisée plus tard.

Actuellement, des recherches intensives focalisent sur la façon d'exprimer les exigences des politiques de sécurité. Cependant, la grande majorité des travaux ont été centrés sur le contrôle d'accès, mais peu de travaux s'intéressent aux problématiques de contrôle d'usage. Les administrateurs de sécurité ont une grande difficulté à comprendre les effets globaux et les conséquences de leur spécification des règles de la politique de sécurité. Par exemple, une spécification incomplète pourrait involontairement donner accès à un utilisateur non-autorisé ou à une utilisation abusive d'une ressource. En outre, les changements fréquents dans les règles de la politique de sécurité et les interactions entre les règles de sécurité, durcissent la tâche de l'analyse et la rendent fastidieuse. Par conséquent, il est très important d'analyser et valider la spécification de la politique de sécurité avant de la déployer sur le système cible.

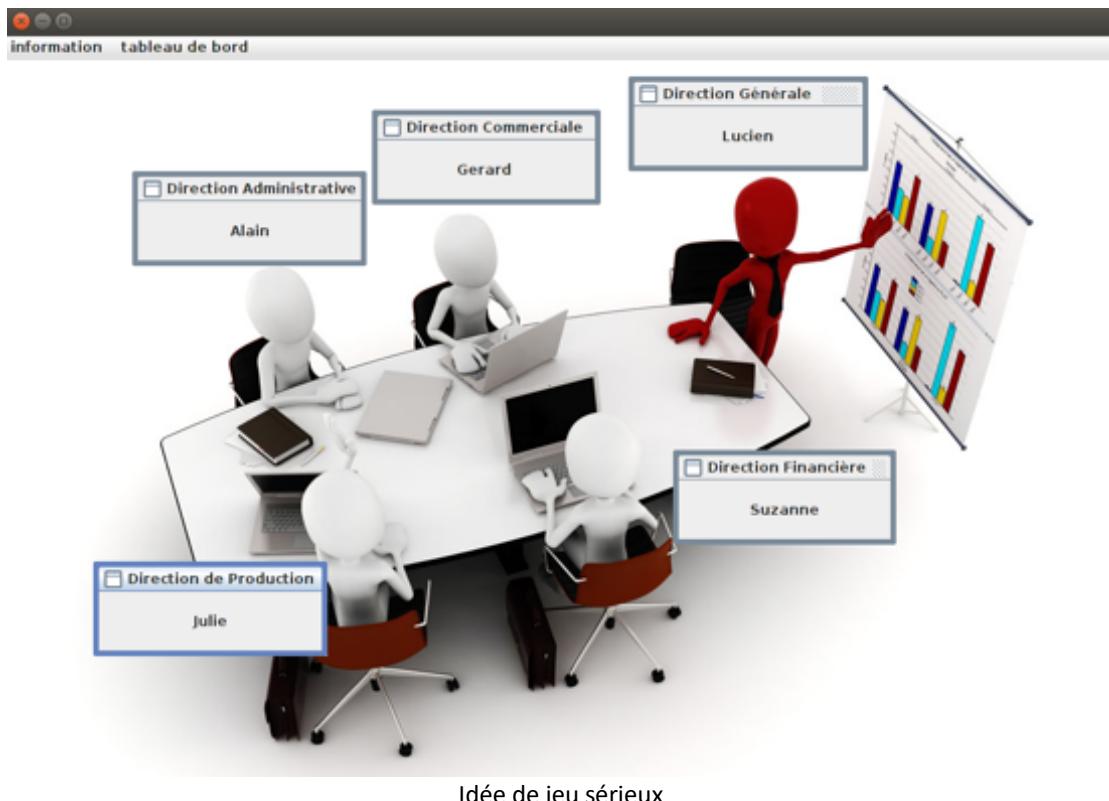
Ainsi, l'analyse des politiques de sécurité se fait manuellement ou à l'aide d'outils. L'analyse manuelle est une tâche très difficile et source de plusieurs erreurs. Dans notre travail, nous allons proposer une nouvelle approche formelle pour analyser automatiquement des spécifications de politiques de sécurité.



La figure ci-dessus schématise le contexte général et l'approche dans laquelle se situe notre contribution. Notre approche est basée sur la vérification par model-checking. Le model-checking est une approche prometteuse pour l'analyse automatique des politiques de sécurité qui a été approfondie. Plusieurs outils basés sur cette approche ont été mis en œuvre et appliqués avec succès à des applications réelles.

Le travail sur les réseaux du point de vue architecture pour une application distribuée et pour la sécurité a été poursuivi dans le cas des micro-services ainsi que du point de vue technologique (JavaScript et les questions de blocage, technologie Java et les applications Web, etc.). Cela a permis d'être avertis sur les technologies de développement en vue du prototypage le moment venu.

Le prototypage concerne des tests de calcul parallèle pour aller vers le distribué, des tests sur l'implémentation de SMA massifs et un jeu sérieux. Pour ce dernier, nous avons recours à la virtualisation et à des choix technologiques qui devaient être faits quant à l'environnement de programmation et de l'architecture (par exemple, les plateformes JEE semblent en voie de disparition et les versions récentes de Java proposent de nouvelles approches). Un stagiaire a été recruté pour travailler dans ce sens.



Idée de jeu sérieux

### WP3 Système d'aide à la décision

- préconisations
- Simulation d'entreprises proactives intégrant un système de régulation (LITIS-INSA, LOFIMS)
- Elaboration d'un écosystème logistique au service de l'économie territoriale (MOBIS)
- Préconisations et évolution à court et moyen terme de la réglementation (IDIT)

Nous poursuivons sur les voies :

- A- Travail fondamental sur les SdS et application à la notion de tissu économique
- B- Travail sur un démonstrateur (jeu sérieux)

#### A- Travail sur les SdS

En nous intéressant aux communications dans un SdS nous avons pu définir divers indicateurs : pour la criticité, la vulnérabilité, l'influence et l'influençabilité. Ces critères sont maintenant publiés et la thèse de I. Ed-Daoui en rapporte tous les éléments. Ainsi, en considérant un territoire du point de vue économique et selon le modèle SdS, nous avons maintenant des outils pour évaluer l'interaction entre les entités qui le constituent. Implémenté, cela offre une première plateforme possible que nous avons voulu appliquer à un tissu économique.

Il est à remarquer que l'avancement sur cette problématique s'est fait grâce à une collaboration étroite entre le LITIS-INSA et le laboratoire partenaire LMN qui est spécialisé dans la fiabilité des systèmes. Les discussions (et travaux de stagiaires) sur les aspects mécaniques ont permis d'approfondir les aspects informatiques et systémiques.

## Calcul de la criticité et de la vulnérabilité

$(\forall n_i \in G):$

$$\text{Criticité } (n_i) = \frac{\text{Card}(C(n_i))}{\text{Card}(G_j)}$$

$(\forall n_i \in G):$

$$\text{Vulnérabilité } (n_i) = \frac{\text{Card}(F(n_i))}{\text{Card}(G_j)}$$

- $i \in \{1, 2, \dots\}$  et  $j \in \{1, 2, \dots\}$
- $\text{Card}(G_j)$ : le nombre des systèmes formant le groupe engendrant le système  $n_i$ .
- $\text{Card}(C(n_i))$ : le nombre des systèmes influencés par le système  $n_i$ .
- $i \in \{1, 2, \dots\}$  et  $j \in \{1, 2, \dots\}$
- $\text{Card}(G_j)$ : le nombre des systèmes formant le groupe engendrant le système  $n_i$ .
- $\text{Card}(F(n_i))$ : le nombre des systèmes influençant le système  $n_i$ .

07/11/2019

11

## Calcul de l'influence et l'influençabilité

$$\begin{aligned} \forall (n_i, g_j) \in G \times F: \text{Influence } (n_{ij}) = \\ \text{Criticité}_{Système}(n_i) \times \text{Criticité}_{Groupe}(g_j) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \forall (n_i, g_j) \in G \times F: \text{Influençabilité } (n_{ij}) = \\ \text{Vulnérabilité}_{System}(n_i) \times \text{Vulnérabilité}_{Group}(g_j) \end{aligned}$$

Avec :

- $i \in 1, 2, \dots, \text{Card}(G)$
- $j \in 1, 2, \dots, \text{Card}(F)$
- $n_i$ : représente un système au sein du groupe  $g_j$ .
- $g_j$ : représente un groupe au sein du système de systèmes.
- $\text{Card}(E_i)$ : représente le nombre total des systèmes au sein du groupe  $g_j$ .
- $\text{Card}(F)$ : Le nombre total des groupes formant le système de systèmes.

07/11/2019

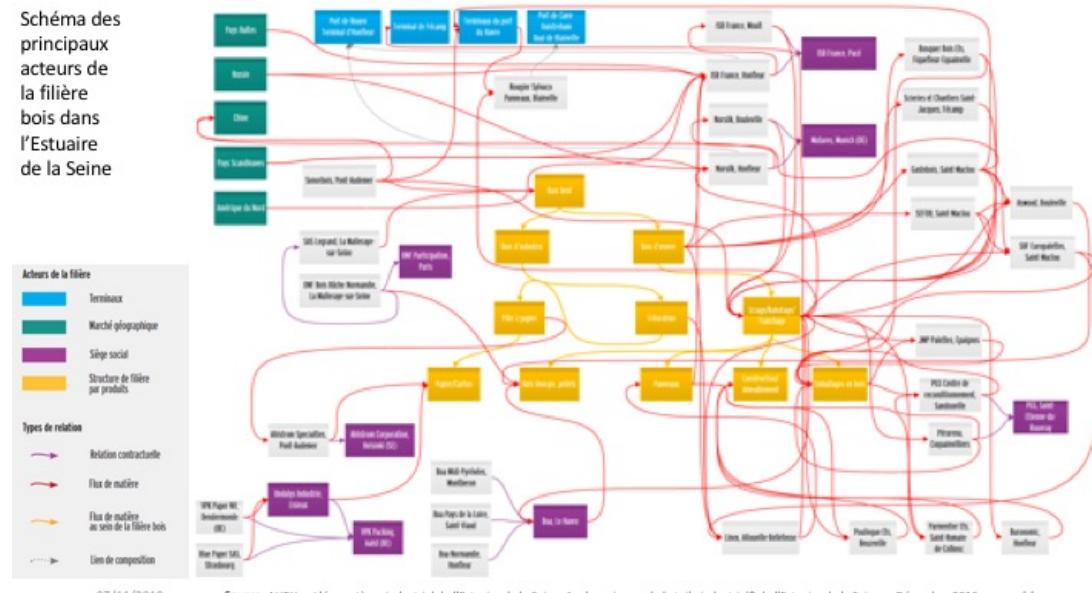
12

### Les méthodes de calcul des indicateurs

L'ensemble des partenaires du projet s'est réuni pour examiner ces indicateurs. En partant d'un « schéma des principaux acteurs de la filière bois dans l'Estuaire de la Seine » un exemple d'usage issu d'une source web (AURH, « L'écosystème industriel de l'Estuaire de la Seine: Analyses issues de la toile industrielle® de l'Estuaire de la Seine », Décembre 2016) a été abordé. La notion de tissus économiques a alors été

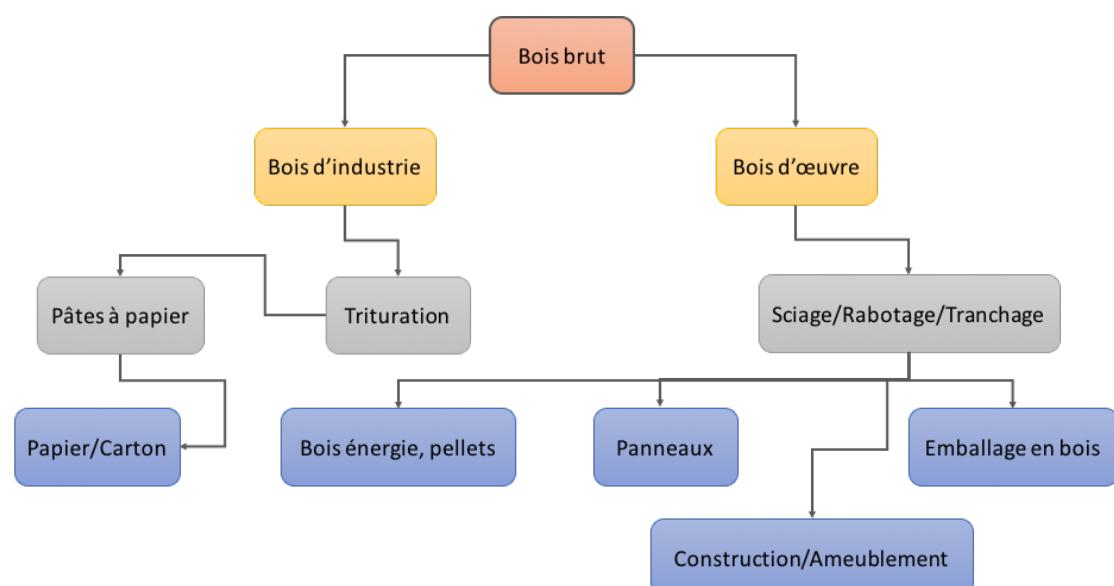
remplacée par celle de toile industrielle qui nous a semblé plus parlante et exploitable. Nous avons alors pu appliquer nos indicateurs à la filière bois.

En faisant évoluer le concept de tissu industriel sur un territoire vers la notion de toile industrielle (Dunkerque, AURH). Notre travail fondamental sur les indicateurs va s'appliquer dans ce contexte.



14

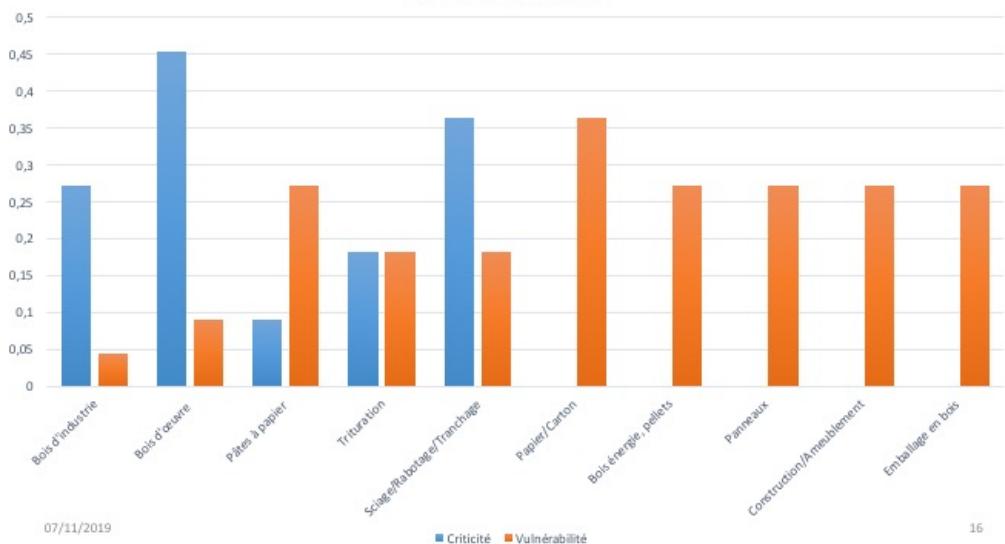
### La filière bois dans l'Estuaire de la Seine.



Réseau d'interdépendance des principales structures de filières par produit

Le travail mené avec le doctorant Ilyas Ed-Daoui permet de considérer un réseau issu d'un tissu industriel sous la forme d'un graphe (issu de la toile industrielle) puis de l'analyser avec des outils de graphes.

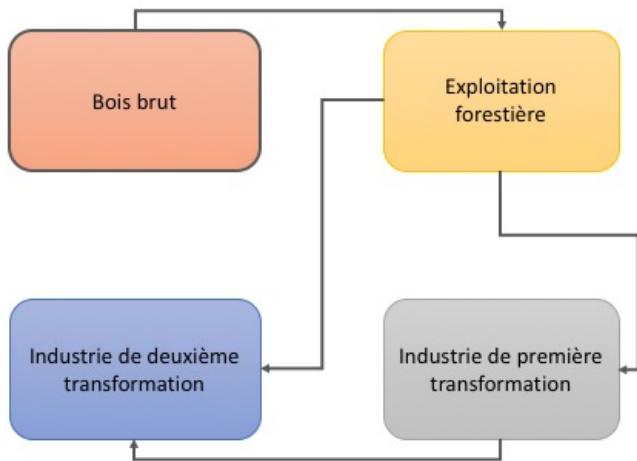
**Résultats des calculs de la criticité et de la vulnérabilité au sein de chaque ensemble d'activités**



16

**Résultats des calculs au sein de chaque ensemble d'activités**

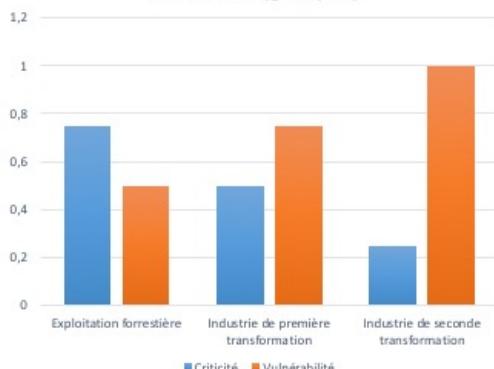
**Réseau  
d'interdépendance  
des principaux  
ensembles  
d'activités**



07/11/2019

18

### Résultats des calculs de la criticité et de la vulnérabilité des ensembles d'activités (groupes)

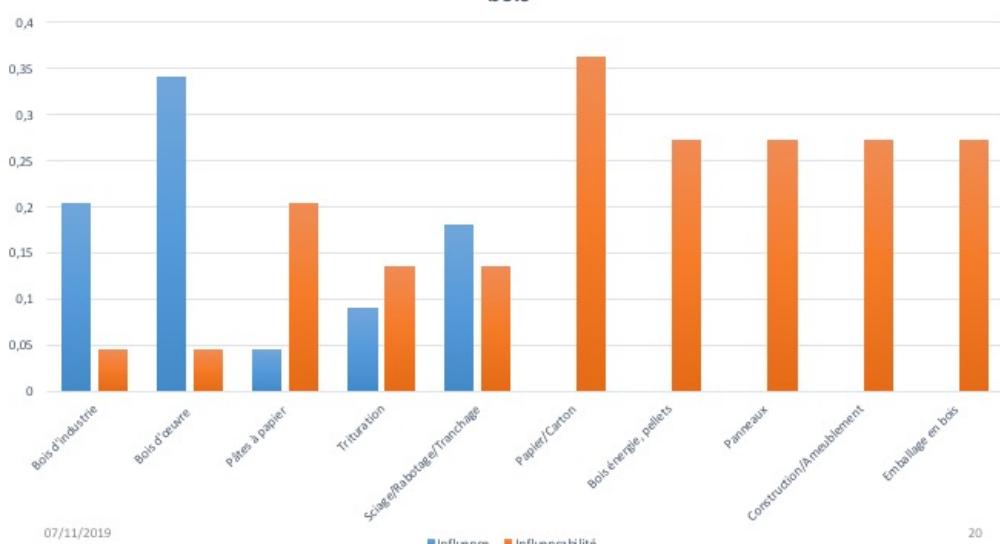


07/11/2019

19

### Résultats des calculs pour les ensembles d'activités

#### Résultats des calculs de l'influence et de l'influençabilité au sein de la filière bois



07/11/2019

20

Il est ensuite possible de classer les villes en tenant compte des entreprises selon les critères calculés.

Le travail mené permet :

- L'évaluation des conséquences structurelles et architecturales de l'arrivée, la défaillance et le départ d'un établissement sur le rendement du territoire
- L'estimation de l'impact qu'a le flux au sein du territoire sur les différents établissements
- La localisation des établissements influents/vulnérables, au sein du territoire, par rapport au flux d'interaction

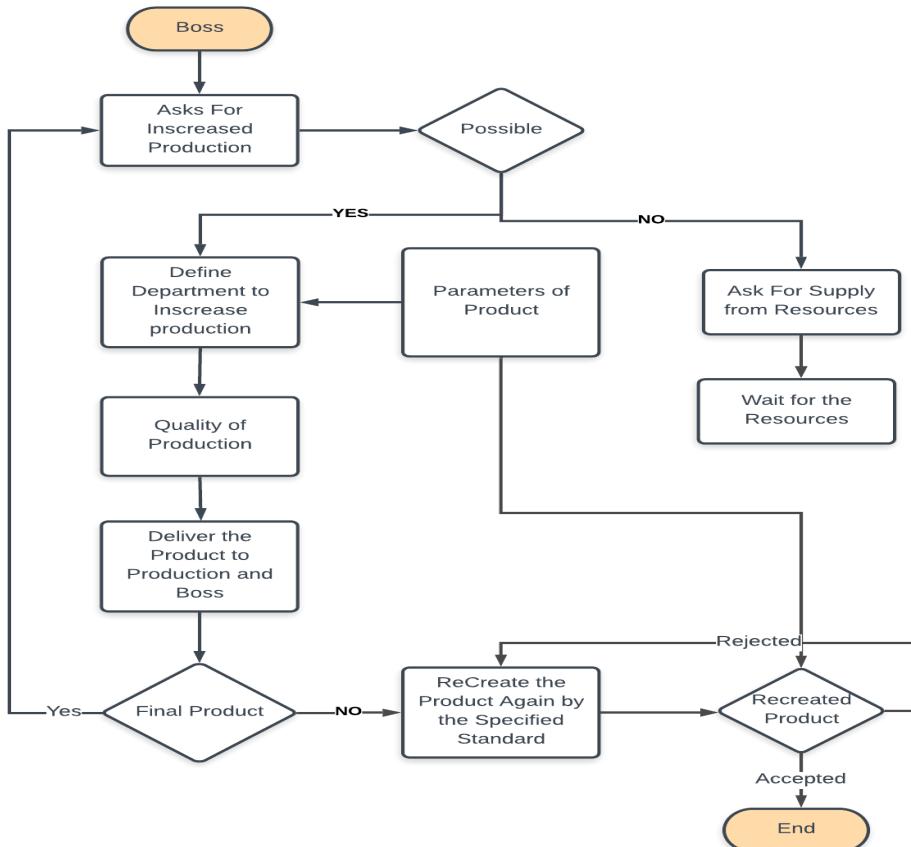
Nous avons là des résultats de recherche nouveaux pour les systèmes de systèmes qui nous ouvrent la voie pour leur exploitation dans divers domaines.

## **B- Cas du jeu sérieux**

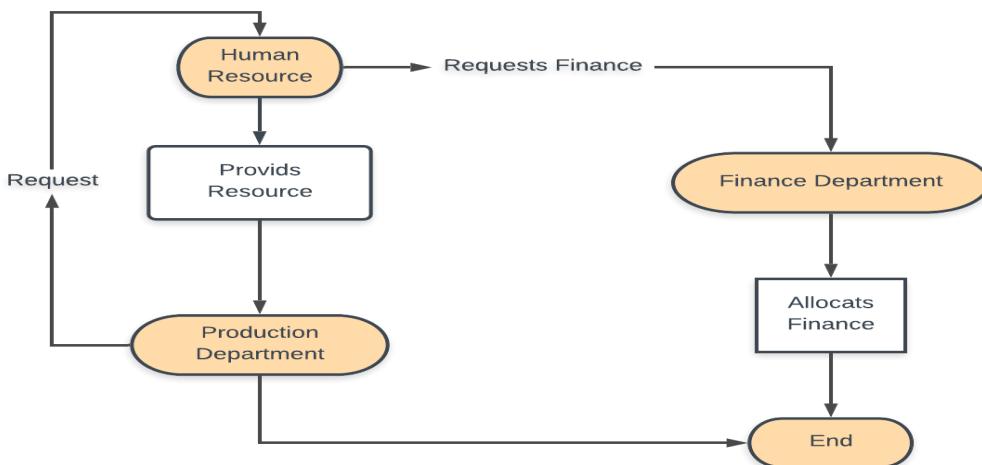
Des choix technologiques avaient été faits quant à l'architecture du système (pour simplifier : client-serveur sur le web) et langages de programmation (technologie Java). Les applications web s'orientent vers des clients qui sont portés par des smartphones (et qui peuvent être qualifiés de « lourds »).

Les travaux se sont orientés vers la réalisation d'un prototype qui peut être porté par un PC comme par une tablette ou un smartphone. Le choix de ce dernier est dû à l'observation des comportements de nos élèves et en discutant avec les stagiaires. Un avantage était aussi le fait que les smartphones et tablettes peuvent être considérés comme des PC facilitant ainsi la démonstration d'une application distribuée sur des « machines » indépendantes (travail d'abord sur un environnement de virtualisation). La première version du prototype s'appuie sur le modèle client/serveur n'est pas complètement distribuée mais les choix sont faits pour une avancée incrémentale vers la distribution.

L'application est la simulation simplifiée des interactions entre plusieurs entreprises et au sein de chacune. Dans une entreprise interagissent cinq départements : DG (direction générale), Production, RH (ressources humaines), Commercial, Finance. Des règles d'interaction et de gestion devaient être définies. Par ailleurs, nous avons convenu qu'un tissu économique pouvait toujours se ramener pour une filière à un schéma basique comprenant un Producteur, un Industriel, un Logisticien, un Distributeur et une entreprise de Communication. Cela pour simplifier car rien n'empêche la disponibilité de plusieurs entreprises sur un même secteur ni travaillant pour plusieurs filières.



Exemple de diagramme d'activité : le département de Production



Exemple de diagramme d'activité : le département des Ressources

Les interactions entre les entreprises sont scrutées par le réseau réifié qui est une sorte d'institutionnel mettant à disposition les informations et agissant par le biais de taxes dont il définit le montant. L'objectif est d'étudier la résilience du réseau d'entreprises mises en jeu tout en mettant à l'épreuve cet ensemble par l'« institutionnel ».

L'avancement de l'implémentation n'a pas permis de finaliser l'application. Cependant, une entreprise (et donc plusieurs) pouvait être représentée. La difficulté vient de l'expérience insuffisante des stagiaires en programmation sur les outils sélectionnés, la connaissance des réseaux, la virtualisation, etc. sans oublier l'évolution des technologies auxquelles ils doivent se former pendant leurs stages.

### Résultats finaux

Nos recherches nous ont permis de répondre à la problématique de la modélisation de certains aspects de la dynamique économiques d'un territoire et d'en proposer une mesure de la compétitivité. La modélisation s'appuie sur les notions de tissu économique et de toile industrielle. Les calculs utilisent les résultats obtenus dans la thèse sur la résilience des systèmes de systèmes de notre doctorant Ilyas Ed-Daoui. Nous appliquons actuellement la méthodologie développée pour la « fiabilité des systèmes de systèmes » à différents secteurs:

- automobile à travers une thèse financé par la société Faurecia (Sohoin Koffisse: soutenance prévue en Janvier 2020).
- aéronautique et défense avec le projet PISTIS, une méthodologie développée conjointement avec Xterm sur l'optimisation des systèmes de systèmes multi-objectifs.
- éolien pour l'étude des effets des charges aérodynamiques sur le comportement dynamique non linéaire d'une éolienne à axe vertical de type Darrieus (Post-doc Imen Belmabrouk).

Par ce projet nous avons pu consolider un axe de recherche entre le LMN et le LITIS autour des systèmes de systèmes.

### Perspectives

Du point de vue appliqué, nous poursuivrons l'utilisation de la méthodologie et des outils développés dans des cadres contractuels.

Du point de vue théorique, nous chercherons à affiner nos méthodes de calcul pour bien mettre en valeur les aspects dynamiques et leurs applications au passage à l'échelle.

### Conclusion

Ce projet de recherche a dynamisé nos activités de recherche tant spécifiques que partenariales. Nous avons pu approfondir nos travaux de manière fructueuse et dégager des éléments nouveaux (mesures sur les systèmes de systèmes) que nous avons commencé à appliquer non seulement pour évaluer des dynamiques dans les territoires mais aussi dans des domaines industriels. Nous avons pu aussi travailler et échanger à un niveau pluridisciplinaire. Les résultats de cette coopération sont là même s'ils ne sont pas très visibles. Nous nous sommes promis des publications de travaux en commun tout en sachant que cela n'est pas toujours accepté par nos évaluateurs institutionnels.

## **6.6 Action 5. Usine du futur, Application à la logistique**

---

### ***6.6.1 Descriptif***

#### **Coordonnateur :**

Jean-François Brethé, Professeur des universités en robotique, ISEL, université Le Havre Normandie

#### **Objectif :**

Dans le contexte de l'usine du futur (Sûre, Flexible, Connectée et durable) lié aux défis économiques, sociaux et environnementaux dans une région à forte tradition industrielle et logistique, des enjeux importants d'innovations technique et scientifique portent sur l'optimisation des outils de production, de la logistique et des organisations associées. Cet axe émergent dans le projet Xterm se traduira par des travaux sur l'optimisation d'ateliers de production reconfigurable utilisant des robots autonomes mobiles comme système de transport et de chargement/déchargement de pièces (LINEACT/CESI) et le développement d'applications robotique innovantes dans la halle robotique logistique du PIL (Pôle Ingénieur Logistique) au Havre (GREAH).

**Mot-clés :** manipulateur mobile, torse humanoïde, robots mobiles, ateliers reconfigurable, entrepôts logistiques, WMS (warehouse management systems)

### ***6.6.2 Participants et ressources humaines***

#### **Laboratoires :**

- GREAH (Université du Havre),
- LINEACT (CESI)
- IRSEEM (ESIGELEC)

#### **Personnels permanents :**

GREAH : 8 EC + 2 IGE + 1 postdoc

- Arnaud BELHOMME – Prag Génie Industriel
- BRETHE Jean-François – PU robotique
- DRUAUX Fabrice – MC automatique
- GORKA Marc – MC automatique
- GUERIN François – MC automatique-Robotique
- LECLERC Edouard – MC automatique
- LEFEBVRE Dimitri – PU automatique
- PAREDE Jean-Yves – Ingénieur études
- VASSELIN Eric – MC automatique-Robotique
- NASRI Yassine – Ingénieur d'études contractuel
- SAYAH Ali – Ingénieur d'études contractuel
- BENALI Khairidine – Ingénieur d'études contractuel

#### **LINEACT (CESI)**

- M'hammed SAHNOUN
- Anne LOUIS
- David BAUDRY

- Fabrice DUVAL
  - Vincent HAVARD
- IRSEEM (ESIGELEC)
- Xavier Savatier, EC HDR robotique
  - Rémi Boutteau, EC vision par ordinateur et robotique
  - Benoit Decoux, EC vision et apprentissage
  - Nicolas Ragot, EC vision par ordinateur
  - Romain Rossi, EC robotique
  - Pierre Merriaux, ingénieur, responsable ingénierie systèmes embarqués

***ATER université du Havre***

- El Houssein Chouaib HARIK, ATER université du Havre
- Sofiane MEDJRAMI, ATER université du Havre
- Marwa TALEB, ATER université du Havre

***Collaborateurs extérieurs :***

- Amel Bouachari, enseignante-chercheuse, université de Skikda, Algérie
- Labib Terrissa, enseignant-chercheur, université de Biskra, Algérie
- Professeur Pascal Vasseur, Université de Rouen
- Dr Fu
- Trinh Manh Tuyen, université de Lorraine
- Mourad KENK, université South Valley, Qena, Egypte
- Dr Luc Rolland, university of West scotland, Ecosse
- Dr Amel Bouachari, enseignante-chercheuse, université de Skikda, Algérie
- Pr Hassabalah, South Valley university, Qena, Egypt

***Doctorants :***

- BENALI Khairidine - GREAH – ULH

***6.6.3 Restitution des études menées***

Comme prévu dans l'organisation initiale du projet, les travaux menés au sein de l'action 5 du projet Xterm se structurent essentiellement autour de 3 volets :

1. **Développer les fonctionnalités des plates-formes technologiques :**
  - a. mise en place de la plate-forme robotique logistique du PIL (halle robotique logistique de l'université du Havre) et formation des utilisateurs
  - b. mise en place de la plate-forme atelier de production reconfigurable du LINEACT (CESI).
2. **Production scientifique sous forme de stages ou participation à des conférences**
  - a. Au niveau de la halle robotique logistique du GREAH, la production scientifique a été mise en œuvre sous la forme de stages et de thèses de doctorat

- b. Au niveau du LINEACT, la production scientifique s'est traduite par des communications dans des conférences et des publications dans des revues internationales

### **3. Valorisation**

- a. Des actions de valorisation ont été menées et d'autres sont en cours de préparation.
- b. Des actions de communication vers le grand public ont été menées
- c. Des actions de formation en direction des apprentis ingénieurs de l'ISEL sont en cours

### **Synthèse des contributions du GREAH (Université du Havre)**

#### **1. Développement des fonctionnalités de la plate-forme technologique du PIL (GREAH)**

Au niveau de la halle robotique logistique du PIL, la première année du projet a vu la majeure partie des activités du projet consacrée à l'installation et la prise en main des matériels robotiques achetés dans le cadre du PIL (Pôle Ingénieur Logistique).

En effet dans le cadre d'un précédent projet FEDER PIL, une halle robotique dotée en matériels robotiques innovants a vu le jour dans le bâtiment destiné à la recherche en logistique. La halle dotée des matériels robotiques était censée ouvrir en mai 2015.

Pour différentes raisons, le calendrier initial n'a pas pu être tenu. Finalement, l'étude des différents matériels robotiques disponibles sur le marché, et la rédaction des CCTP nécessaires aux procédures de lancement d'appel d'offres des marchés publics a été menée de décembre 2014 à septembre 2015. De juin 2015 à octobre 2015, nous avons expertisé les différentes offres reçues en réponse aux appels d'offre des marchés publics pour choisir les matériels. Ensuite il a fallu organiser la réception des matériels dans des locaux hors du PIL car la halle robotique du PIL n'était pas encore ouverte. Le déménagement des matériels vers la halle robotique a eu lieu seulement le 2 septembre 2016 avec près de 15 mois de retard sur le calendrier initial. Des achats sont aujourd'hui encore en cours de réalisation par le bureau des marchés de l'université du Havre sur le projet PIL.

Nous allons maintenant donner le détail des principaux matériels robotiques acquis pour cette halle robotique (non financés sur le projet Xterm mais sur un précédent projet FEDER PIL). Il s'agit :

- De deux petits robots humanoïdes Nao
- D'un cobot Baxter
- D'un torso humanoïde Crom sur lequel sont montés deux bras UR10 de la société Universal Robot
- De deux robots mobiles Summit XL HL dont l'un sera équipé d'un bras UR5
- D'une flotte de 10 mini-robots mobiles thymio à vocation pédagogique
- De deux pinces mécaniques à actionnement électrique
- D'une main trois doigts à actionnement électrique
- De deux capteurs d'effort 6 axes
- D'un drone DJ inspire

- De divers matériels informatiques (1 automate, 2 stations de travail, 2 PC, 2 ordinateurs portables, 1 écran tactile grande dimension)



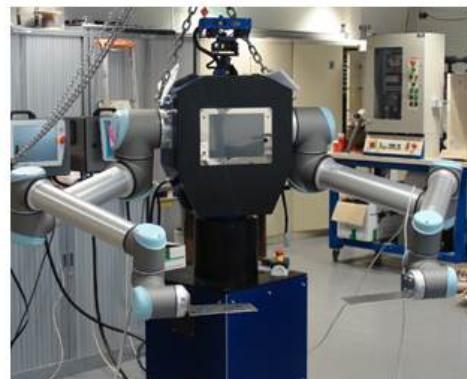
2 Robots Nao



1 drone DJ inspire



1 summit XL HL avec bras UR5  
+ 1 summit XL HL porteur



1 torso Crom  
+ 2 bras UR10



10 robots thymio



2 pinces 2 doigts Robotiq  
+ 1 main 3 doigts Robotiq  
+ 2 capteurs efforts 6 axes



1 cobot Baxter

*Photos des principaux matériels de la halle robotique logistique*

Un des objectifs du projet Xterm action 5 Usine du Futur est de renforcer l'opérabilité des matériels robotiques acquis lors du projet FEDER PIL. Ceci passe par l'organisation de formations pour les utilisateurs et le recrutement de ressources humaines supplémentaires pour la mise en œuvre, la maintenance et l'évolution des matériels suivant les applicatifs prioritaires des recherches en cours.

Ainsi, nous avons organisé un cycle de formations pour ces différents matériels suivant le planning suivant :

- ✓ Robot Baxter                    2 jours - 12-13 nov 2015 par la société Génération Robots
- ✓ Nao                                2 jours – 16-17 nov–2015 par la société Génération Robots
- ✓ Universal robots                3 jours 24-25-26 nov 2015 par la société HMI MRI
- ✓ Summit XL                      3 jrs (20 h) – 14-15-16 décembre 2015 par la société robotnik
- ✓ Pinces et torso CROM            3 jours 6-7-8 avril 2016 par la société robotnik

Au total ce sont 13 journées de formation qui ont eu lieu, financées par le budget FEDER PIL car faisant partie des CCTP des marchés publics.

Le torse Crom après expertise est reparti 2 mois chez le fournisseur pour réparation et amélioration. Nous avions en effet remarqué un jeu de fonctionnement trop important au niveau du torso. Ceci a pu être corrigé et le matériel est revenu fin décembre 2016.

De nouveaux matériels se sont ajoutés : de mars à septembre 2017, nous avons pu remonter et mettre à jour un convoyeur présent précédemment dans la salle robotique de l'ISEL ; d'autre part, nous avons installé un lecteur/graveur de tag RFID, un système de localisation radio, des filets sur la salle robotique afin de protéger les opérateurs de drone. Un système de racks identiques aux entrepôts logistiques a été fourni par une entreprise partenaire et installé dans la salle d'expérimentation.

Concernant le recrutement des personnels ingénieurs d'études et de recherche, nous avons pu préparer les fiches de poste et nous avons lancé en octobre 2016 la procédure de recrutement pour un ingénieur d'études pour un CDD de 24 mois. Le recrutement a été finalisé et M Yassine Nasri a rejoint l'équipe projet le 1 mai 2017. Il a démissionné en avril 2018 pour rejoindre la startup Navya. Nous avons relancé des campagnes de recrutement. M Nasri sera remplacé à partir du 1<sup>er</sup> janvier 2019 par M Ali Sayah et le doctorant Khairidine Benali qui à l'issue de son contrat doctoral de 36 mois a été embauché au sein de XTERM à partir d'octobre 2018.

## **2. Synthèse de la production scientifique du GREAH**

La production scientifique du GREAH se construit au travers des travaux de recherche du doctorant Khairidine BENALI (contrat doctoral de trois ans à partir du 1/10/2015) qui travaille à temps plein sur la thématique robotique logistique de l'action 5 du projet Xterm et d'un certain nombre de stages dirigés par les membres permanents de l'équipe projet. Des rapports de stage sont disponibles pour chacun des stages encadrés.

En ce qui concerne le doctorant Khairidine BENALI, son sujet de thèse est la conception et la commande d'un système robotisé à base de bras manipulateurs

pour la palettisation en entrepôt logistique. Les travaux de thèse sont codirigés par JF Brethé et F Guérin et co-encadrés par Marc Gorka.

L'objectif général de la thèse est d'utiliser un torse humanoïde pour effectuer la préhension de colis de taille variable, cas souvent rencontré en entrepôt logistique.

Dans l'industrie manufacturière, les objets circulant sur les chaînes de production sont généralement identiques et le débit de la chaîne est important. Ainsi les préhenseurs sont généralement conçus adhoc i.e. ils sont spécifiquement conçus pour l'application mais ne peuvent pas être utilisés pour saisir d'autres types de produits.

La robotisation des entrepôts logistiques nécessite des préhenseurs polyvalents. Le plus polyvalents des préhenseurs sur le marché est aujourd'hui la main robotique ; cependant sa généralisation se heurte d'une part à des problèmes de coûts et d'autre part, à son manque de robustesse. La main est souvent lourde, difficile à commander et intrinsèquement mécaniquement fragile. Son utilisation en environnement industriel ne peut être envisagée que dans des cas spécifiques.

La thèse propose une solution innovante permettant de répondre aux défis d'une préhension en environnement logistique, caractérisé par un besoin impératif de polyvalence de l'outil de préhension. Ici la polyvalence est pensée en termes d'utilisation de deux bras d'un robot torse humanoïde avec un contrôle adhoc de la force exercée.

Deux problématiques principales ont pu être étudiées :

- D'une part, le doctorant a mené une étude de l'état de l'art sur la commande des bras manipulateurs (commande en impédance, en admittance, commande hybride force-position, commande par retour d'efforts) et a commencé à implémenter et tester certaines de ces commandes avancées sur le torso Crom muni des deux bras cobotiques UR10, et des capteurs d'efforts 6 axes. Les commandes implémentées permettent aujourd'hui de saisir un carton latéralement grâce à une pression contrôlée des deux bras et de lui faire décrire une trajectoire quelconque grâce à un contrôleur hybride force/position mis en œuvre sur le bras esclave et un contrôleur en position sur le bras maître. Un article a été accepté pour la conférence ICIT 2018 à Lyon. Une étude théorique du système dynamique constitué du carton et de la commande hybride précédente est menée dans le cas où le contact entre l'effecteur et le carton est modélisé par une liaison compliant.
- D'autre part, le doctorant a démarré une étude sur la conception de préhenseurs polyvalents compliant. Cette étude a eu lieu dans le cadre d'un stage de deux mois effectué par M Zhang, étudiant en 2<sup>e</sup> année de l'IUT GMP (Génie Mécanique et Production) de l'ULH. Plusieurs solutions ont été testées et des prototypes construits à l'aide du responsable de l'atelier de fabrication du département GMP. Ces travaux ont été poursuivis dans le cadre du stage de M Armando De Sousa pour la réalisation en imprimante 3D d'un nouvel effecteur.
- Le doctorant a participé au salon Innorobo Paris 2016 pour suivre l'évolution des technologies robotiques dans le domaine industriel
- Le doctorante et des membres de l'équipe ont participé aux rencontres annuelles des ingénieurs et utilisateurs des matériels robotiques commandés sous ROS (journées Robotex, Nantes, sept 2016 et Lille, 29 sept 2017)

- Le doctorant et ses encadrants ont participé aux journées nationales robotiques organisées à Paris (7-8-9 novembre 2016) avec la publication d'un poster présentant les activités menées en thèse et aux journées Nationales Robotique à Biarritz du 7 au 10 novembre 2017.
- Le doctorant a participé à l'encadrement d'un stage Master2 de mars à sept 2017 portant sur l'automatisation et l'autonomisation des tâches de picking par un robot Baxter sous ROS. L'idée est de développer une complémentarité entre les torsos Crome et Baxter pour des applications en entrepôts logistiques.
- Des membres de l'équipe ont participé à la journée Normandigital Cybersécurité à Caen le 18 octobre 2017.
- Le doctorant a soutenu ses travaux de thèse le 25 octobre 2019 devant un jury composé de Pr Véronique Perdereau, présidente du jury, université Paris Sorbonne, Dr Christine Chevallereau, CNRS, Ecole Centrale de Nantes, rapporteur, Pr Richard Bearee, ENSAM Lille, rapporteur et les 3 encadrants de l'université du Havre.

Un ATER de l'université du Havre, Dr Sofiane Medjram s'est associé au projet pour collaborer sur les aspects vision de la thèse. Ses contributions ont porté sur la localisation des cartons à l'aide de la caméra RGB-D situé sur la tête du torse et permettent de s'affranchir des AR-tags posés initialement sur les cartons.

Mourad Kenk de l'université de Qena, Egypt est venu effectué un séjour long de 12 mois (oct 2018-sept2019) afin de finaliser une thèse de doctorat. Ses contributions ont porté essentiellement sur l'identification en temps réel des humains dans l'environnement du robot mobile afin de pouvoir adapter le comportement du robot. Une distance minimale de 1.50 m doit être conservée entre le robot mobile et les personnels afin de permettre des conditions de coexistence optimale selon la théorie de la proxémique. La difficulté est de pouvoir analyser suffisamment rapidement les images et flux vidéo pour prendre les décisions en temps réel et garantir la sécurité du personnel et la qualité de ses conditions de travail. Plusieurs algorithmes ont été testés et comparés, dont un algorithme de deep learning (YOLO). Les résultats des travaux ont été publiés dans la conférence ICINCO.

En ce qui concerne les contributions scientifiques ou technologiques dans le cadre des stages, nous recensons les sujets suivants :

1. Stage M2 recherche de 4 mois février-juin 2016 (Master 2 SFSI, ULH) de Mme Samya MFarrej portant sur les applications des PN (réseaux de Petri) pour la robotique (lpartie 2 du mémoire) . Mme MFarrej a montré comment les PN permettaient de modéliser des scénarii dans un atelier logistique/productique/robotique comme le PIL (partie 3 du mémoire). Ses contributions servent aux projets Madness et Xterm. Les travaux ouvrent des perspectives intéressantes sur l'utilisation de SED (Systèmes à Evénements Discrets) au sein du PIL, en particulier la synthèse de modèles pour l'industrie 4.0 en ciblant l'un des challenges des systèmes cyber-physiques: la communication produits - machines. L'idée est de décrire une méthode de synthèse de modèles modulaires qui peuvent être utilisés pour la génération de scénarii pour l'industrie 4.0, la simulation, la vérification de propriétés (blocages, ...) et

l'évaluation de performances. Pour cela les RdP sont bien adaptés. Ils permettent de modéliser les synchronisations, les choix, l'allocation de ressources. Les extensions temporelles permettent de tenir compte du temps. Enfin les extensions colorées permettent de faire communiquer les jetons avec les éléments de structure (places, transitions) donc les produits avec les machines. Plusieurs scénarios réalisables avec les moyens du pil en utilisant les composants : convoyeur, robots mobiles, torse ont été étudiés et feront l'objet de développements ultérieurs. [encadrement : D Lefebvre]

2. Stage de 2 mois mai-juin 2016 de M P.A. Guyader (IUT GEII, ULH) sur la commande non linéaire des robots mobiles Summit XL en vue de leurs déplacements en autonomie dans un entrepôt logistique ; modélisation sous ROS (Robot Operating System) et implémentation sur robot réel pour des tests. [encadrement : F Guérin]
3. Stage de 2 mois mai-juin 2016 de M T.Quentin (L3 informatique, Université de Rouen) portant sur le développement d'une application Android pour le transfert d'un bon de commande depuis un smartphone vers un robot humanoïde NAO. [encadrement : F Guérin]
4. Stage initiation à la recherche de MM C.Auger et D.Thorel (Elèves ingénieurs CESI Rouen) sur la communication smartphone-robot humanoïde juin 2016 [encadrement : F Guérin]
5. Stage de 2 mois mai-juin 2016 de M R.Julien (IUT GEII, ULH) sur mise en route d'un automate industriel Schneider à installer en retrofitage d'un convoyeur provenant d'une ancienne salle robotique de l'ISEL. [encadrement : F Guérin]
6. Stage de 2 mois mai-juin 2016 de M. Léo Bouillé (L3 informatique, ULH) portant sur la localisation d'un robot mobile summit sous environnement ROS par Artag. Une modélisation simplifiée de la structure porteuse des racks d'un entrepôt logistique a été réalisées sous ROS et sur chacun des poteaux a été fixé un ARTAG (affichette de réalité augmentée). Les caméras PanTilt emmenées par le Summit ont été utilisées pour scruter l'environnement et repérer les ARTAG permettant d'effectuer une location dans l'entrepôt avec une erreur inférieure à 30 cm. Il reste maintenant à implémenter ces travaux sur le robot réel. [encadrement : J. F Brethé]
7. Stage de 2 mois mai-juin 2016 de M Yu Zhang (IUT GMP, ULH) portant sur la conception et réalisation de préhenseurs compliantes. Les travaux ont permis d'étudier différentes solutions et d'analyser leurs avantages et inconvénients. Plusieurs prototypes ont été construits. Les travaux demandent à être poursuivis. Un partenariat se profile avec le département GMP. [encadrement : J. F Brethé]
8. Stage de 2 mois Conception et réalisation mécatronique (DUT GMP) de M Armando DE SOUZA du 10 avril au 17 juin 2017 [encadrement : J. F Brethé]
9. Stage de 3 mois gestion de la communication de l'action 5 du projet Xterm [DUT info-com] de Madame Anne-Flore CUISSET du 1 avril 2017 au 30 juin 2017 [encadrement : J. F Brethé]
10. Stage de 3 mois de Monsieur Mohamed FATIS du 9 avril au 30 juin 2017, Modélisation d'un environnement industriel dynamique sous ROS (L3info) [encadrement : J. F Brethé, Yassine Nasri]

11. Stage de 3 mois de Monsieur Amayes SADAOUUI du 11 avril au 30 juin 2017, Concevoir et mettre en œuvre une interface entre un smartphone et un entrepôt logistique (L3info) [encadrement : J. F Brethé, Yassine Nasri]
12. Stage 6 mois master recherche de Madame Wafae SEBBATA du 1er mars 2017 au 30 septembre 2017, Automatisation et autonomisation de tâches d'assemblage et de picking par robot Baxter sous ROS (Master robotique) [encadrement : J. F Brethé]
13. Stage 6 mois master recherche de Monsieur Mohamed HOUBA du 20 mars 2017 au 30 septembre 2017, Mise en œuvre et exploitation vision 3D sous ROS pour la localisation objets en environnement industriel (Master robotique/informatique/image) [encadrement : J. F Brethé]
14. Stage de 2 mois de Monsieur Kamel MAKHLOUFI du 15 avril au 15 juin 2017, Mise en place d'une interface IHM de communication avec le robot CROM (L3info) [encadrement: Marc Gorka]
15. Stage de 2 mois de Madame Riham JAWAD du 15 avril au 15 juin 2017, Mise en place d'une interface IHM de communication avec le robot CROM – cas de récupération des données (L3info) [encadrement: Marc Gorka]
16. Stage de formation doctorale de 13 mois de Monsieur Mourad KENK du 01/05/2017 au 31/10/2017, puis 10/09/2018 au 31/03/2019 Mise en place d'un système de surveillance intelligent pour les robots mobiles en entrepôts logistiques, [encadrement : J. F Brethé]
17. Accueil en avril par Dimitri Lefebvre de 2 étudiants de master de l'université de Salerne : M. Citro et M. Mirabelli et visite du professeur F. Basile de l'université de Salerne.  
Nous nous sommes intéressés à des problèmes d'ordonnancement dans des systèmes logistiques ou des systèmes de production pour lesquels une sémantique simple est utilisée : réalisation des tâches au plus vite. Le problème particulier de l'estimation de la durée d'une liste de tâches organisées selon des contraintes structurelles connues (séquences, choix, parallélismes) a été étudié et une solution innovante est en cours de validation.  
Les résultats seront soumis au prochain congrès ieee CDC et une version étendue sera soumise dans un journal.
18. Stage master recherche de Amal FARES, M2FSI « modélisation des entrepôts logistiques par réseau de Pétri » [encadrement Edouard Leclercq] La modélisation par réseaux de Petri permet de traduire la présence de blocages à l'aide de l'étude d'une structure particulière appelée siphon. Structure correspondant à un ensemble de places qui une fois vidé ne peut être à nouveau rempli, ce qui peut se traduire par un blocage du réseau. Une commande basée sur l'ajout de place de contrôle permet d'éviter de se trouver dans une telle situation. Les travaux ont pour objet d'identifier ces structures et de déterminer le sous ensemble minimal de siphons qui permet de s'affranchir des blocages.
19. Stage de 2.5 mois Conception et réalisation d'un préhenseur hybride pour le torso Crom (licence 3 mécanique) de M Armando DE SOUSA du 2 mai au 13 juillet 2018 [encadrement : J. F Brethé]
20. Stage 6 mois master recherche de Monsieur Wassim SOYAH du 19 mars 2017 au 14 septembre 2018, Détermination des incertitudes de localisation d'un robot

- mobile en entrepôt logistique par l'utilisation d'un dispositif métrologique externe (Ingénieur instrumentation-métrie) [encadrement : J. F Brethé]
21. Stage 6 mois master recherche de Madame Ouissal BENAMEUR du 19 mars 2018 au 14 septembre 2018, Intégration de systèmes robotisés pour des tâches de picking en entrepôt logistique (Ingénierie informatique) [encadrement : J. F Brethé]
  22. Stage de 8 semaines (janvier à avril 2019) de M Quentin Nourry sur la création d'un site web pour le collectif de robotique du Havre ([www.robots-logistics.eu](http://www.robots-logistics.eu))
  23. Stage de 8 semaines (janvier à avril 2019) de M Lamine Messaoui sur le développement d'une interface de modélisation d'entrepôts logistiques.
  24. Organisation de trois séminaires de travail :
    - Le 16 octobre 2017 avec Dr Fu sur le thème « Visual Servoing for Mobile Robot Navigation with Obstacle Avoidance and Field-of-View Constraints»
    - Le 28 novembre 2017 avec Tranh minh Tuyen sur le thème "Distributed Model-based Predictive Fault-Tolerant Control »
    - Le 21 juin 2018 avec M Ali Darwich sur le thème des méthodes d'extraction d'arrière-plan de vidéo pour application à la robotique mobile

A noter que dans la politique de genre menée au sein du projet, les candidatures féminines ont été encouragées et trois étudiantes ont pu être recrutées afin d'améliorer la mixité de l'équipe projet.

Un certain nombre de travaux à finalité technologique ont été menés au sein de la halle robotique. En particulier, des travaux ont été menés pour la recherche d'une solution de géolocalisation indoor en partenariat avec la société S2Fnetwork.

### **3. Bilan des activités de restitution scientifique menées par le GREAH**

Nous avons présenté les grandes lignes de l'action 5 du projet Xterm Usine du Futur et les enjeux de la robotique logistique lors d'une demi-journée thématique « la logistique, enjeux pour la vallée de la seine » lors de la Quinzaine de l'innovation en Normandie, à l'ISEL, Université du Havre, le 14 octobre 2015. [Exposé « Logistique industrielle et robotique mobile », par Jean-François Brethé]

Nous avons participé au salon des sciences de Gonfreville l'Orcher le 19 mars 2016 en exposant des matériels robotiques et les doctorants de l'équipe ont effectué des démonstrations avec les robots Nao. François Guérin et Jean-François Brethé ont aussi donné une conférence grand public sur les enjeux de la robotique mobile notamment dans le secteur logistique.

Un comité RTI (recherche technologie innovation) du pôle de compétitivité NAE normandie s'est tenu le 20 septembre 2016 avec environ 30 participants (industriels, écosystème de valorisation, académiques). Le programme de ce comité a été le suivant : « Atelier industrie du futur robotique et cobotique »

- Tour de table et Actualités de NAE (10min)
- Rappel des enjeux et de l'objectif de cet atelier (5min)
- Définition partagée de la robotique et cobotique par le CETIM (15min)

- Présentation de MIP Robotics – nouvelle génération de robot (20min + 10min d'échanges)
- Retour d'expérience sur la thématique par Safran Nacelles (20min + 10min d'échanges)
- Présentation des dispositifs de soutien par l'AD Normandie (20min + 10min d'échanges)
- Synthèse et expressions des besoins (10min)
- Visite du Pôle Ingénieur et Logistique (30min)

Nous avons organisé une demi-journée valorisation sur la coopération UAV-UGV le 15 novembre 2016 au PIL, ISEL, Université du Havre en collaboration avec Captronic et Novalog « Utilisez des robots collaboratifs terrestres et aériens dans l'industrie ! » Nous avons reçu une cinquantaine de participants dont 15 industriels.

#### Le Programme final

- L'usage des drones en logistique- CRITT Transport Logistique (centre de conseil et d'innovation en logistique)
- Applications de la robotique en entrepôt logistique - FM Logistics
- La géolocalisation indoor par procédé Optimètre - INSA de Rouen Société Optimètre

- Démonstration des systèmes développés à l'Université - Université du Havre – GREAH

L'équipe projet a participé au MeetUp Novalog du 6 février 2019 à Louviers pour présenter le projet XTERM action 5 aux entreprises présentes.

La valorisation des travaux menés se fait aussi sous forme pédagogique, notamment lors des enseignements de robotique dispensés par JF Brethé aux 80 apprentis de la formation Mécanique et Production de l'ISEL en partenariat avec l'ITII HN (CFAI de Puteaux et Evreux).

Un partenariat entre l'ISEL, et le prestigieux institut Fraunhofer de Magdebourg et l'université de Cottbus (Allemagne) a été initié en mars 2017 afin d'organiser un voyage d'étude sur l'industrie 4.0 pour les élèves ingénieurs par apprentissage de la formation Mécanique et Production de l'ISEL.

Un premier voyage a eu lieu du 17 au 30 septembre 2017 avec 78 participants. Un second voyage a eu lieu du 17 au 28 septembre 2018 avec 89 participants.

Un cours de robotique de 12h orienté sur la logistique est dispensé par JF Brethé dans le cadre du partenariat GU8 avec les étudiants étrangers présents à l'ISEL – cours dispensé en anglais au printemps 2017 et 2018. Un TP orienté robotique logistique a été mis en œuvre sur les équipements du projet XTERM (mise en carton).

L'équipe projet a mis en place une manifestation interne intitulée « Fun robotics Fridays » dont les objectifs sont :

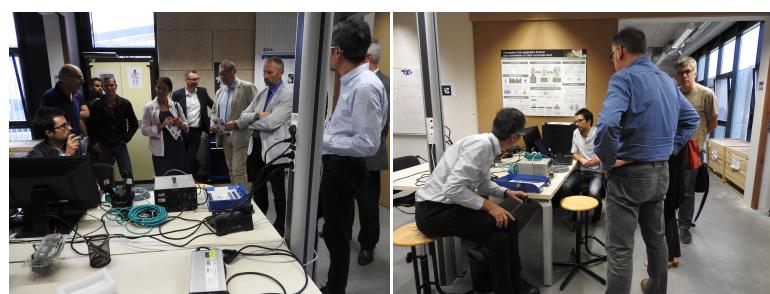
- fédérer l'équipe,
- favoriser la communication interne,
- motiver les membres
- Ouvrir à la communauté universitaire (E et EC, étudiants)
- Ouvrir plus largement vers écoles, collèges, lycées...
- Préparer les visites de la halle robotique
- Fréquence : un vendredi après-midi tous les 15 jours : de 14h à 17h30, les 24 mars; 7 avril ; 28 avril ;12 mai ; 26 mai ; 9 juin 2017 ; les 15 et 22 juin 2018



Quelques membres de l'équipe projet ont organisé une Journée robotique à l'école primaire et maternelle de Sainneville-sur-Seine le 11 juin 2017. [article de presse]



L'équipe projet a organisé une Journée portes ouvertes : de 9h à 17h le 23 juin 2017 à destination des personnels de l'ISEL, de l'équipe présidentielle de l'université Le Havre Normandie et de personnes choisies pour leur intérêt aux activités robotiques. Une trentaine de visiteurs se sont succédés toute la journée.



L'équipe projet a accueilli 4 classes de collège et lycée le 9 octobre 2017 à l'occasion de la fête de la science. L'événement a été relayé sur les informations régionales de france3.

L'équipe projet a accueilli du 19 au 23 février 2018 trois élèves de classe de 3° dans le cadre d'un stage de découverte professionnelle.

L'équipe projet a accueilli le 23 mars 2018 une classe de 3° du collège Descartes du Havre dans le cadre du parcours Excellence.

Deux membres de l'équipe projet ont participé aux journées nationales robotique et enseignement supérieur à Montpellier les 17-19 octobre 2019.

L'équipe projet a organisé une Journée de visite du projet le 13 novembre 2018 pour 89 élèves ingénieurs par apprentissage de l'ISEL et une trentaine de personnels de l'ISEL. Un article de presse est paru dans le Havre Presse le 14 novembre 2018 à ce sujet.

Un reportage a été diffusé par France 3 Baie de Seine le 14 janvier 2019.

## Synthèse de la contribution scientifique du LINEACT (CESI)

Une entreprise est soumise à plusieurs contraintes provenant de plusieurs origines : culturelles, techniques, économiques, .... La gestion d'un atelier de production sous l'influence de plusieurs contraintes est compliquée surtout dans un environnement économique complexe, compétitif, imprévisible et avec des durées de vie de produits de plus en plus courtes. Ceci impose aux entreprises notamment les PMEs, l'utilisation de nouvelles organisations de systèmes de production plus flexibles et plus robustes face aux changements de son environnement. Le système de transport des produits dans un tel système devient un organe très important mais également complexe. L'utilisation de systèmes automatisés de transport, notamment avec des robots autonomes intelligents, est une solution actuellement explorée, basée sur différentes techniques de modélisation et de simulation telles que les systèmes multi-agents, ou les systèmes à événements discrets. Les gestionnaires de ce genre de système de production ont besoin de méthodes et d'outils d'aide à la décision leur permettant de prendre rapidement des décisions efficaces et proches de l'optimale en respectant un grand nombre de contraintes exigées par le système et son environnement.

Nous nous intéressons aux problématiques liées à la modélisation, la simulation et l'optimisation des systèmes de production flexibles intégrant des robots mobiles. Nos travaux s'intéressent plus particulièrement à la gestion des tâches de transport et la mesure de la flexibilité de routage dans ce genre d'atelier. En effet, nous avons proposé une méthode pour la mesure de la flexibilité de routage en utilisant l'entropie de l'information disponible. Nous avons aussi développé un algorithme d'ordonnancement dynamique des tâches de transport dans l'atelier flexible. Enfin, nous nous sommes intéressés à la proposition d'architecture et de modèles du système cyber-physique industriel et de son jumeau numérique dans le contexte de l'industrie 4.0.

### Modélisation et simulation des systèmes de production

Afin de comprendre ce genre de systèmes de production, nous avons fait un état de l'art sur les systèmes de production existants. Nous avons identifié les systèmes de production flexibles comme solution permettant l'adaptation rapide des PMEs aux exigences de l'environnement économique actuel. En se basant sur les Réseaux de pétri coloré et hiérarchique, nous avons développé des modèles fonctionnels d'ateliers de production liés aux différentes composantes des systèmes de production à savoir les machines, les produits, les moyens de transport et les stocks. Nous avons utilisé les réseaux de Pétri afin de pouvoir vérifier la faisabilité des modèles et de pouvoir dérouler des problèmes d'ordonnancement et de transport de produits à l'intérieur des ateliers de production. Un modèle objet (UML Figure 10) a été fourni afin d'illustrer les connexions entre les différentes parties du système de production et les différentes modèles développés.

Afin de vérifier la faisabilité et l'exactitude des modèles développés, nous avons exploité la ligne de production disponible dans les locaux du laboratoire LINEACT du



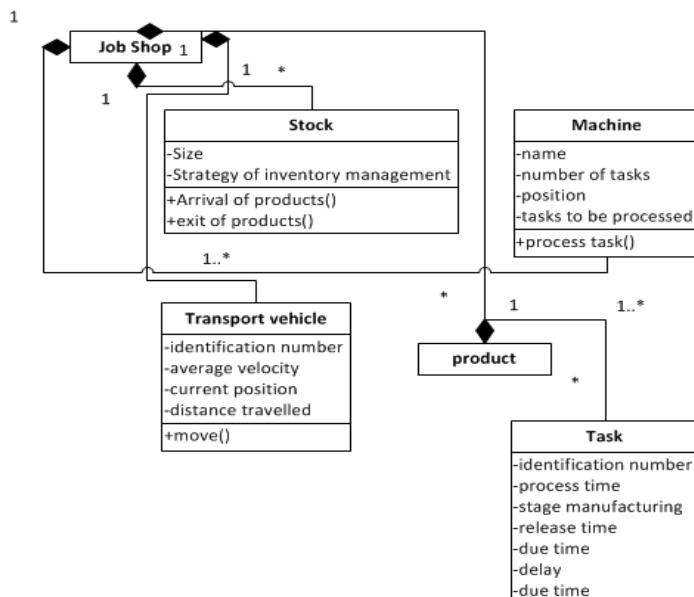
**Figure 16 :** L'atelier d'assemblage flexible du laboratoire LINEACT du CESI

CESI (Figure 9). Cette ligne représente un atelier autonome et flexible qui permet de produire plusieurs types de produits en même temps avec des contraintes bien particulières à cette ligne (les produits traversent les machines même s'ils ne subissent pas d'opération et le transport est assuré par plusieurs tapis roulants côté à côté).

#### Ordonnancement dynamique et flexibilité de routage

Nous avons intégré, par la suite, des modules d'optimisation au simulateur afin de résoudre des problèmes liés à l'implantation, à l'ordonnancement et à la robustesse du système de production face à des événements indésirables.

En effet, nous avons développé un algorithme d'ordonnancement dynamique permettant d'assurer une production robuste, réactive et adaptable à moindre coût. Cela permet d'éviter les blocages de la production ou des efforts excessifs et couteux pour gérer des imprévus. L'algorithme va donc essayer de sélectionner des trajets



**Figure 17 :** Diagramme UML d'un atelier de production flexible.

permettant l'augmentation de la flexibilité du routage du système de production. Cet algorithme permet d'effectuer des décisions multi critères pour le choix du chemin élémentaire à prendre (un chemin élémentaire est un chemin entre une zone de chargement et une zone de déchargement des produits comme le montre la Figure 18). Les critères considérés peuvent être liés à plusieurs exigences internes ou externes à l'atelier de production, tel que le taux de remplissage des zones de chargement ou de déchargement, le nombre de produits dans chaque zone, la somme des temps de processus des produits dans les zones de déchargement, la distance parcourue par le transporteur, le temps de processus des machines de production, etc.

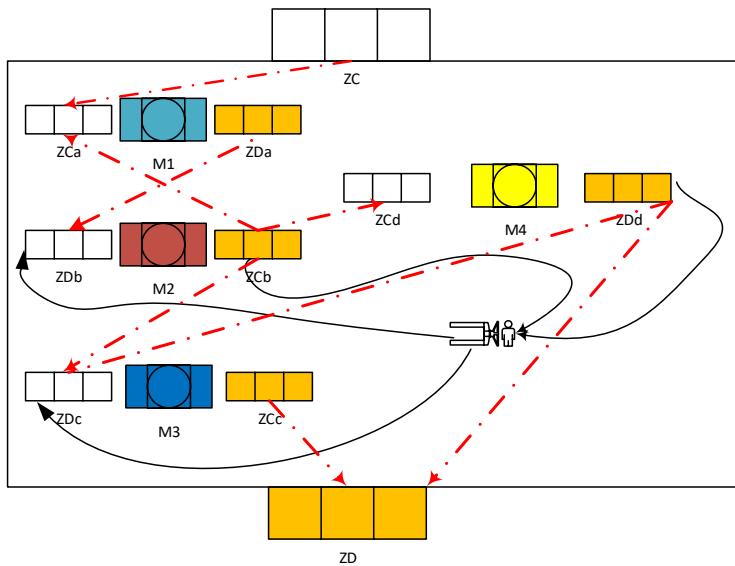


Figure 18 : Atelier flexible et chemins élémentaires

L'algorithme développé classe ces règles de décisions par ordre de priorité. Nous avons fait le choix de les classer par capacité de flexibilité, ce qui fait que la règle qui éliminera le moins de chemin va être classée en premier et ainsi de suite. Cela donnera plus de flexibilité au système et permettra la considération de plus de règles possibles.

Afin de mesurer la flexibilité selon chaque critère, nous avons proposé l'utilisation de l'entropie qui donne une bonne estimation de la dispersion d'un critère selon la relation suivante :

$$h_{c_i} = \sum_{j=1}^{j=J} c_{i,j} \ln(c_{i,j})$$

Où  $h_{c_i}$  est l'entropie du critère  $c_i$ , et  $c_{i,j}$  est la valeur du critère pour le chemin élémentaire  $j$ .  $J$  est le nombre de chemin possible à un instant donné.

La mesure de la flexibilité de routage d'un atelier de production est une notion peu explorée dans la littérature notamment dans un contexte dynamique. Nous avons proposé une heuristique pour mesurer la flexibilité de routage globale d'un système de production flexible en prenant en compte plusieurs règles d'ordonnancement. On somme les valeurs des critères pour les chemins qui sont toujours dans la compétition jusqu'à la sélection du dernier chemin. La relation suivante permet de calculer la flexibilité d'un atelier de production à un instant donnée.

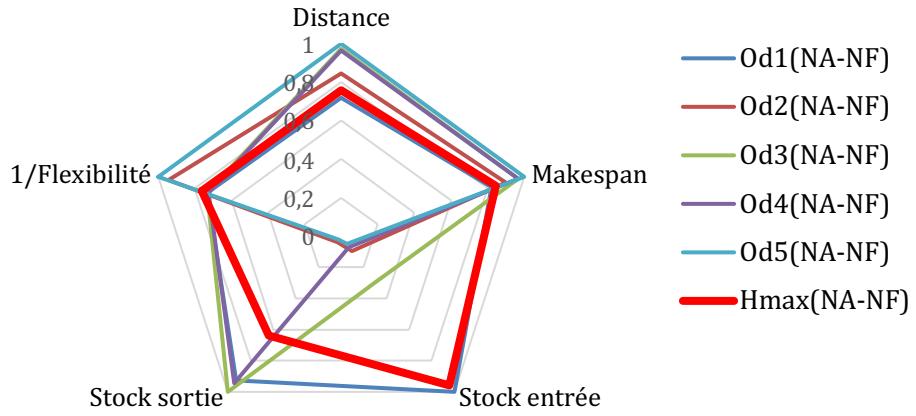
$$H = \sum_{i=1}^{i=N} \sum_{j=1}^{j=J_i} c_{i,j} \ln(c_{i,j})$$

Tel que : N est le nombre de critères considérés.  $J_i$  est le nombre de chemin restant après filtrage par le critère  $c_{i-1}$ .

Nous nous servons du modèle de simulation que nous avons défini pour implémenter l'algorithme d'ordonnancement dynamique des tâches de transport et tester la cohérence de la méthode de mesurer la flexibilité du système de production au fur et à mesure de l'évolution de la production. Ce travail présente un grand intérêt pour des PMEs qui sont amenées à maximiser l'utilisation de leurs ressources de transports et leurs capacités à gérer des situations de crises. Afin de tester et valider les algorithmes développés, nous avons utilisé les modèles des outils de production, validés par expérimentation, pour définir un atelier de production flexible. L'atelier de production considéré est composé de 4 machines flexibles (capables d'effectuer plusieurs types d'opération) et un seul transporteur. L'échantillon de test est un lot composé de 3 types de produit avec des commandes différentes. Nous avons considéré, pour chaque chemin possible, les critères suivants : le taux de remplissage de la zone de remplissage, le taux de remplissage de la zone de décharge, la distance parcourue par le transporteur, le temps d'attente du produit dans la zone de chargement et le temps d'attente du produit dans la zone de décharge. Nous avons comparé quatre cas où les critères sont classés statiquement avec le cas de classification dynamique (utilisation de l'algorithme développé basé sur une entropie décroissante). Nous avons considéré quatre cas d'atelier avec différents niveaux de flexibilité :

- **Situation A-F** : les machines sont assignées préalablement et les stocks sont des FIFO
- **Situation A-NF** : les machines sont assignées préalablement et les stocks sont gérés par le transporteur.
- **Situation NA-F** : les machines ne sont pas assignées et le transporteur a la possibilité de choisir la prochaine machine sur laquelle se passe la prochaine opération. Les stocks sont des FIFO
- **Situation NA-NF** : c'est le cas le plus flexible où le transporteur gère les stocks et choisit la machine de la prochaine opération.

Les résultats montrent que la classification dynamique offre un bon compromis pour l'ensemble des performances du système de production comme le montre la Figure 19 pour la situation NA-NF.



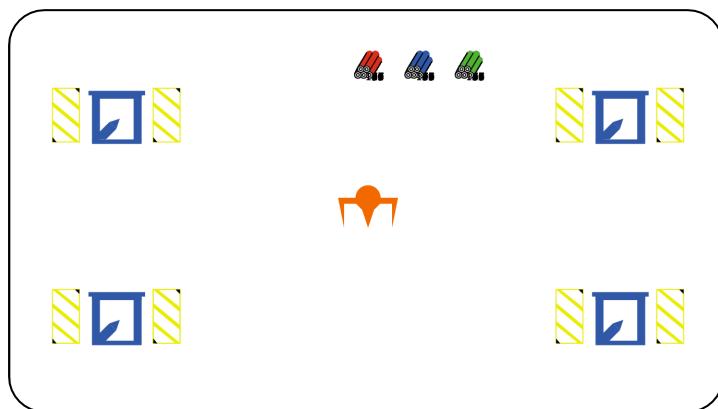
**Figure 19:** Performances du système de production en situation NA-NF. Les valeurs des critères ont été normalisées.

Les simulations ont aussi montré l'importance du choix de la politique de d'ordonnancement et son influence sur les performances du système. La non assignation des machines augmente la complexité mais permet de réduire considérablement les distances parcourus par le transporteur. La flexibilité de routage augmente avec l'augmentation de la flexibilité des machines, mais son comportement au cours du temps est très variable et reste à étudier.

L'utilisation de l'entropie pour la mesure de la flexibilité et la classification des critères est une approche intéressante pour la gestion des flottes de robots mobiles utilisés pour le transport des produits.

#### Modélisation et simulation multi-agent

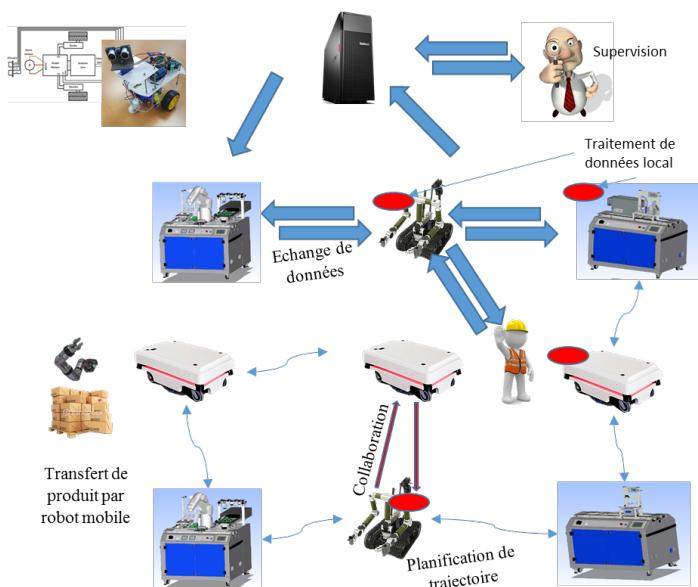
Nous avons proposé une modélisation multi-agent basée sur le découpage UML de l'atelier de production pour pouvoir simuler un atelier avec des produits intelligents, où la destination du produit se décide après une négociation entre le produit, les machines et le transporteur. Nous avons développé un simulateur sur netLogo (Figure 20) pour tester la même configuration de l'atelier développé avec des réseaux de pétri. L'atelier de production est composé de 4 machines avec leurs stocks d'entrée et de sortie ; trois types de produits différenciés par leurs couleurs et un transporteur capable de transporter un produit à la fois.



**Figure 20 :** Simulateur d'atelier de production développé sur NetLogo

Ce simulateur est en cours de développement ainsi que les protocoles de négociation pour la sélection de la machine choisie. Cela va nous permettre de tester des situations plus complexes et d'appliquer des méthodes de sim-optimisation pour l'amélioration du transport dans les ateliers de production flexibles.

Parallèlement à ces travaux de modélisation et de simulation d'atelier flexible, nous avons initié des travaux sur les outils et algorithmes pour des robots mobiles dans le contexte de l'usine du futur. Les algorithmes sont évalués sur des prototypes de robots mobiles développés au laboratoire. Dans le cadre du projet de Plateforme de recherche et d'innovation dédiée à la performance industrielle (PFPI) nous avons lancé les acquisitions de robots mobiles (voir synoptique ci-dessous).



Synoptique du transfert de produit par robot mobile dans l'atelier flexible de production de la plateforme PFPI

En parallèle, nous avons poursuivi nos travaux sur les algorithmes de routage. Ces algorithmes seront implémentés et évalués dans les robots mobiles industriels. Afin de prendre en considération plusieurs transporteurs et plusieurs types de produits, nous allons généraliser l'algorithme. Vu la complexité du système de production, l'utilisation des systèmes multi-agents facilitera la gestion des différents centres de décision ainsi que le comportement spécifique de chaque acteur dans le système. Les principales étapes de nos travaux sont :

- Développement d'un simulateur basé sur les systèmes multi-agents en utilisant Anylogic
- Implémentation de la gestion du transport avec un algorithme classique tel que des règles statiques.
- Implémentation de l'algorithme de gestion de routage dynamique.
- Etude comparative entre le nouvel algorithme et les méthodes classiques.
- Intégration de plusieurs types de transporteurs dans la simulation (humain, robots).
- Implémentation des algorithmes développés sur un cas d'étude réel (atelier flexible du CESI).

Ces travaux ont été poursuivis en 2017 et ont conduit à la mise en place d'une collaboration avec Neoma Business school de Rouen à travers notamment le co-encadrement d'un stage de niveau M2 recherche pour appuyer le développement de ces travaux.

Nous avons continué le développement de nos travaux de recherche sur la modélisation et la simulation des systèmes de production flexibles qui sont considérés comme des systèmes complexes. Nous avons travaillé sur plusieurs aspects concernant la flexibilité des systèmes de production. Nous avons proposé un cas d'étude assez complexe pour pouvoir tester plusieurs types d'algorithmes d'ordonnancement de tâche de transport et d'ordonnancement de produits.

#### **Présentation du cas d'étude :**

Le cas d'étude représente un atelier de production pouvant produire trois produits différents comme le montre le tableau ci-dessous.

**Tableau 1 : les types de produit**

Item 1	Op1 → Op2
Item 2	Op2 → Op3
Item 3	Op1 → Op2

L'atelier est composé de quatre machines flexibles pouvant faire plusieurs opérations différentes. De plus, une opération peut être effectuée sur plusieurs machines différentes comme le montre le tableau ci-dessous.

**Tableau 2: les opérations effectuées par chaque machine**

	OP1	OP2	OP3
M1	X		X
M2	X	X	
M3		X	X
M4	X		X

Le transport des produits est assuré grâce à plusieurs transporteurs flexibles pouvant transporter tout type de produit et pouvant se déplacer dans toutes les zones de l'atelier. Une opération de transport consiste à déplacer un produit d'une zone de stockage à une autre.

Chaque machine possède deux zones de stockage : une zone de stockage d'entrée pour mettre les produits qui vont subir une opération et une zone de stockage de sortie pour le stockage des produits qui ont déjà subit l'opération sur la machine. En plus de ces stocks liés aux machines, l'atelier possède deux stocks d'entrée et de sortie de l'atelier pour les matières premières et les produit finis respectivement.

#### **Modélisation et processus de décision :**

La particularité de l'industrie du futur est d'utiliser de nouvelles technologies permettant la collaboration entre les différentes parties du système et de distribuer la prise de décision pour que les actions soient plus rapides, plus sûres et plus réfléchies. Cela est possible actuellement grâce à l'augmentation de la puissance de

calculs embarquée dans les composants du système. Nous avons choisi d'adopter une architecture distribuée basée sur les systèmes multi-agents. Le modèle de l'atelier est composé de cinq agents en interaction comme le montre la Figure 21. Le transporteur transporte (relation 7) un produit qui doit subir une opération vers le stock d'entrée (relation 4). Le stock va contenir le produit et peut gérer son ordonnancement pour la production (relation 2). Cet ordonnancement est influencé par les tâches de transport qui approvisionne ce stock. Le produit subit une opération sur la machine (relation 3) qui est approvisionné à partir du stock d'entrée (relation 1). Une fois l'opération réalisée, le produit est stocké dans la stock de sortie (relation 8) qui attend (relation 5) un nouveau transport (relation 6) pour subir la prochaine opération ou atteindre le stock de sortie de l'atelier (PS. Il est considéré comme un stock d'entrée dans le modèle).

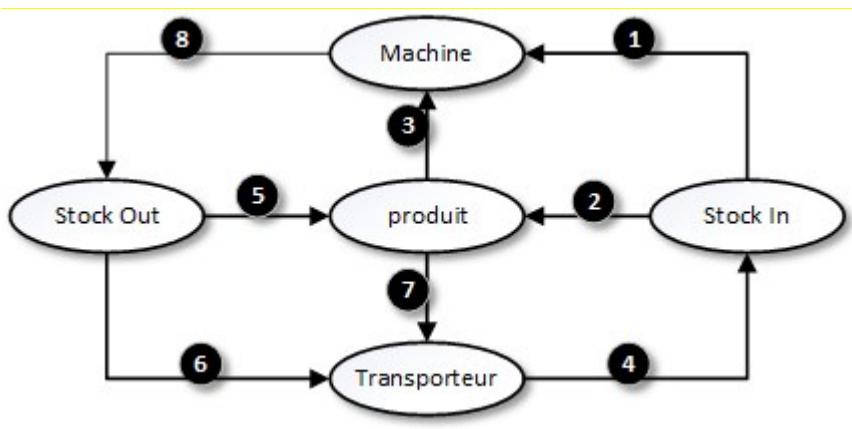


Figure 21: modèle multi-agents de l'atelier de production flexible

Le problème de la décision et l'interopérabilité des agents a été étudié. En effet, l'ordonnancement des opérations de production peut être effectué par la machine ou par le stock d'entrée. Il peut être aussi imposé par les transporteurs lors du choix du produit à transporter. La décision peut être aussi collaborative ou hybride quand l'interaction entre les différents agents définit la décision finale à prendre. Les algorithmes d'ordonnancement que nous avons déjà développés dans le laboratoire (ordonnancement dynamique basé sur l'entropie) peuvent être testés pour assurer une flexibilité maximale de routage des produits. Nous avons développé une nouvelle version du simulateur pour pouvoir tester toutes ces possibilités d'architectures de décision et ces algorithmes d'ordonnancement.

#### **Simulateur :**

Le simulateur a été développé sur NetLogo en se basant sur le modèle multi-agents présenté dans le paragraphe précédent. Les transporteurs peuvent être considérés comme des robots mobiles ou des opérateurs équipés d'un moyen de communication mobile leur permettant de connaître en temps réel le contenu des stocks et la situation des machines. Les déplacements des transporteurs peuvent se faire simultanément et leur vitesse est prédéfinie pour l'instant.

Plusieurs paramètres du simulateur peuvent être réglés tels que le nombre de transporteur, le nombre de produits et les temps de fabrication pour chaque couple machine-opération. La Figure 22 représente une capture d'écran du simulateur développé.

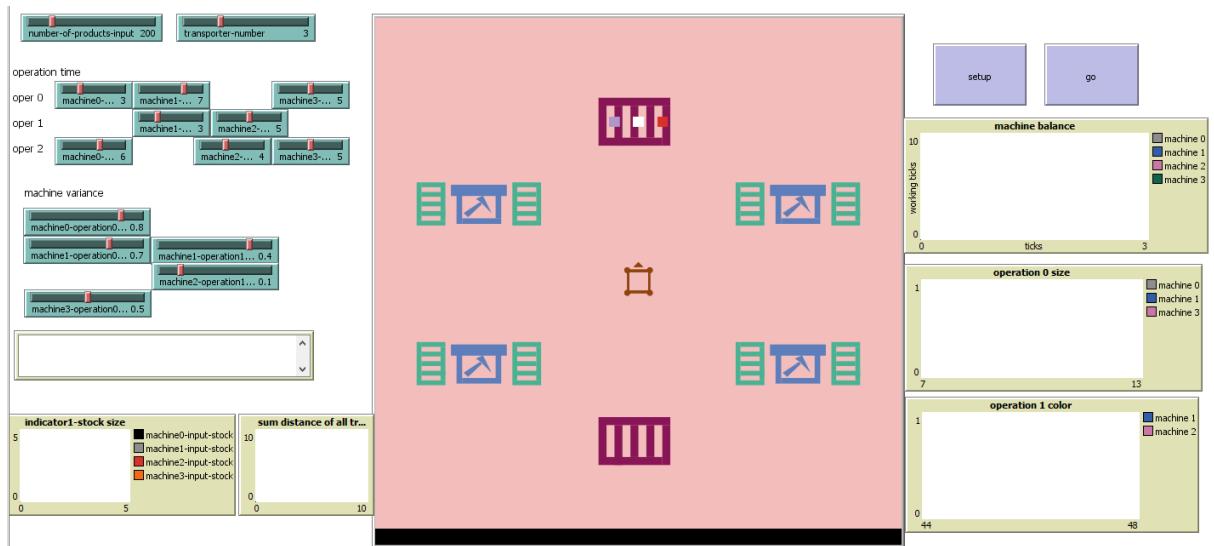


Figure 22 : Simulateur de l'atelier de production flexible avec plusieurs transporteurs

Afin d'évaluer les différents scénarios, nous avons proposé plusieurs indicateurs de performance et notamment :

- Le makespan,
- La distance parcourue par chaque transporteur
- Le taux d'utilisation des machines
- Le taux de remplissage des stocks
- La flexibilité de routage

Les premiers tests de simulation donnent des résultats pouvant valider ce simulateur avec des algorithmes d'ordonnancement simple où les files d'attentes dans les stocks suivent un comportement FIFO et les transporteurs sélectionnent les produits à transporter en se basant sur la distance parcourue uniquement.

#### Ordonnancement dynamique :

L'algorithme d'ordonnancement dynamique des tâches de transport que nous avons présenté dans le paragraphe précédent (Ordonnancement dynamique et flexibilité de routage) a été amélioré et implémenté dans le simulateur multi-agents. Nous avons également amélioré notre estimateur de flexibilité de routage pour prendre en compte la permutation des critères de décision. Cet indicateur est capable de représenter une classification d'importance des critères de sélection en utilisant une somme pondérée des entropies de chaque colonne de la matrice de décision. Il est plus simple à calculer et consomme moins de temps de calcul.

$$H = \sum_{i=1}^{i=N} (N - i + 1) \times \sum_{j=1}^{j=J} c_{i,j} \ln(c_{i,j})$$

Où : N est le nombre de critères considérés, J est le nombre d'opérations de transport possibles.

L'algorithme dynamique peut-être implémenté de plusieurs manières avec un système multi-agents :

- Nous pouvons introduire l'algorithme dynamique dans chaque agent de transport. Chaque transporteur a une vision locale de son environnement et

donc une matrice de décision concentrée uniquement sur ses actions. Le choix du transporteur se fait par des négociations entre les agents de transport. La négociation peut prendre beaucoup de temps de calcul s'il y a des situations de conflit.

- Nous pouvons aussi utiliser un agent monitoring qui permet de superviser l'ensemble des agents de transport pour construire une prise de décision globale dans laquelle sont listées toutes les opérations de transport.
- Une troisième manière d'implémenter cet algorithme est d'utiliser la matrice globale de décisions pour chaque agent de transport pour éviter l'étape de négociation qui peut mener à des situations non optimales ou trop consommatrices en temps de calcul. Dans un premier temps, nous avons choisi d'utiliser cette démarche pour implémenter notre algorithme.

Nous avons testé cette approche et observé les indicateurs de performances de l'atelier de production que nous avons défini précédemment dans le paragraphe cas d'étude. A travers les graphiques et les résultats numériques que le simulateur génère nous pouvons estimer la pertinence de la méthode utilisée. Ces indicateurs sont comme suit:

- **La taille des stocks.** Nous pouvons observer que la taille des stocks augmente rapidement jusqu'à atteindre son maximum (5 dans cet exemple) fixé par la taille maximale du stock comme le montre la Figure 4. Nous pouvons conclure que la taille des stocks est relativement équilibrée. Cet indicateur peut être utilisé pour optimiser les dimensions des stocks plus tard.

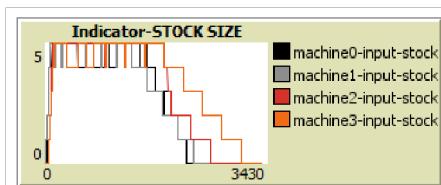


Figure 23 : variation des stocks

- **La distance parcourue.** Cet indicateur, présenté sur la figure 5, montre l'évolution de la distance parcourue par chaque transporteur. Son observation peut aider à savoir si les tâches sont bien réparties entre les transporteurs et à dimensionner la taille de la flotte de transporteurs.

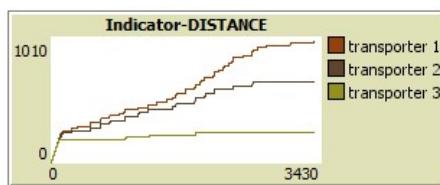


Figure 24 : variation des distances parcourues par transporteurs

- **La flexibilité de routage.** Cet indicateur donne une idée sur le nombre d'opérations possibles à chaque instant. Il est important de vérifier que le système ne propose pas une alternative unique pour les transporteurs. Une valeur moyenne élevée de cet indicateur montre que le système de production est robuste par rapport à des pannes de machines ou du système

de transport. On remarque sur la Figure 6 que vers la fin de la production cette valeur diminue car le nombre de produit en cours de production diminue et le nombre de choix de chemins de transport diminue également.

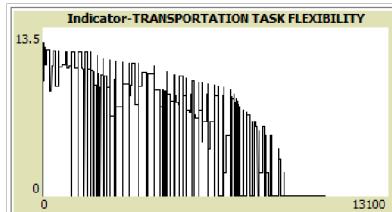


Figure 25 : variation de la flexibilité de routage

- **Équilibrage des machines.** Cet indicateur permet de savoir si toutes les machines font des tâches équivalentes en termes de nombre d'opérations effectuées. La figure 7 représente la charge des 4 machines de l'atelier flexible du cas d'étude. Il faut rappeler qu'il est important de garder la même charge ou des charges équivalentes sur les machines afin de contrôler la dégradation et les actions de maintenance qui peuvent suivre.

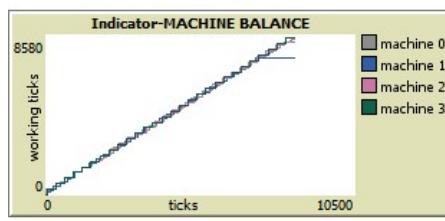


Figure 26 : variation de la charge des machines

- **Performances des machines.** Nous avons établi un comportement stochastique des machines où les temps de process et les résultats des opérations suivent des lois stochastiques représentant la capacité de ces machines (Figure 8). Cet indicateur peut aider à définir le choix de la machine lors de l'ordonnancement des tâches pour obtenir un certain niveau de qualité de produit.

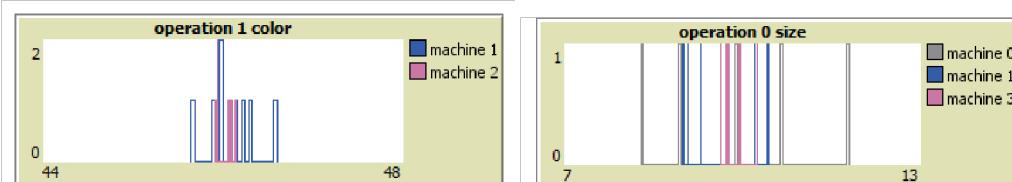


Figure 27 : variation de la qualité des opérations par machine

- **Le makespan.** C'est un indicateur assez global et important pour les ateliers flexibles. Il permet de connaître le temps nécessaire pour la production d'un lot. Cet indicateur doit être minimisé pour assurer une réponse rapide aux besoins des clients. Sur le simulateur, on obtient la valeur du makespan à la fin de la simulation.

### **Test de performance de la méthode :**

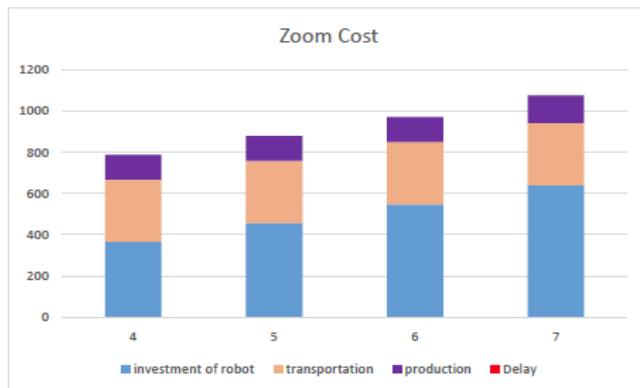
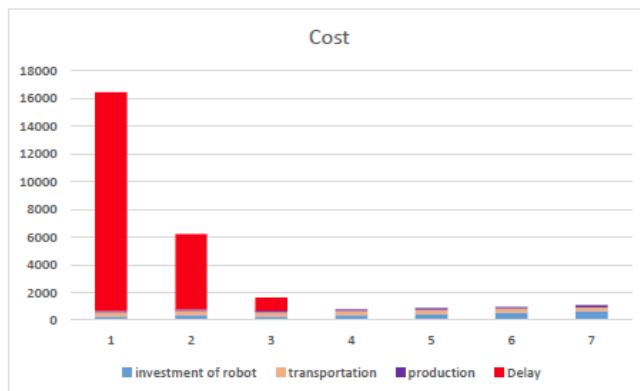
En se basant sur les indicateurs que nous venons de décrire, nous avons lancé plusieurs simulations afin de vérifier les performances de l'algorithme d'ordonnancement dynamique. Nous sommes en train de le comparer avec d'autres solutions classiques telle que la règle FIFO. Nous travaillons également sur la comparaison avec un algorithme génétique qui donne la solution optimale. Cela va nous permettre de savoir si les solutions proposées par notre heuristique sont proches ou pas de la solution optimale.

Nous rappelons que notre travail présente plusieurs avantages, à savoir la rapidité d'exécution, la concentration sur la tâche de transport qui est une tâche centrale dans les ateliers flexibles et l'aspect multi-objectifs de la solution.

Nous avons étendu ces travaux pour proposer un outil d'aide à la décision pour dimensionner et optimiser le nombre de robots mobiles ou AGV dans des systèmes de production flexibles (Figure 28). Une approche fondée sur la simulation est utilisée pour définir le nombre optimal de robots en fonction du coût global. Grâce à la simulation, d'autres indicateurs de performance peuvent être observés tels que le makespan, la distance parcourue et l'équilibrage des machines. En ce qui concerne l'aspect tactique de cette décision, le coût et le respect des délais semblent être les indicateurs les plus importants. Les résultats montrent l'efficacité de l'approche proposée, où l'estimation des coûts démontre que la réduction du nombre de robots entraîne des retards de production et que l'augmentation du nombre de robots génère également un surcoût d'investissement. La solution optimale est considérée comme la première solution sans retard de production. Même si la durée impartie est respectée, l'augmentation du nombre de robots diminue le makespan ce qui peut donner une vision globale sur le nombre de robots nécessaire pour d'autres délais de production. L'augmentation du nombre de robots peut également engendrer des problèmes d'embouteillage. Nos futurs travaux tiendront compte du coût des stocks dans le modèle et tenteront de résoudre les problèmes réels d'évitement des obstacles.

**TABLE II**  
**COST AND PROCESSING TIMES FOR EACH PRODUCTION MACHINE, JOB AND OPERATION**

Product	Operations	Machines			
		$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$
$P_1$	$O_0$	24/35	22/30	-	14/50
	$O_1$	-	24/25	26/30	-
$P_2$	$O_1$	-	24/25	26/30	-
	$O_2$	30/25	-	20/40	22/35
$P_3$	$O_0$	24/35	22/30	-	14/50
	$O_2$	30/25	-	20/40	22/35



**Figure 28 : Exemples de résultats de l'outil d'aide à la décision pour la définition du nombre de robot mobile dans un atelier flexible de production.**

### Production scientifique et valorisation

Ces travaux ont fait l'objet de deux ateliers intitulés « Technologies innovantes et outils d'aide à la décision pour l'Usine du futur » des rencontres scientifiques et d'innovation XTERM du 10 Novembre 2017, atelier co-organisé avec l'ESIGELEC, et du 29 Novembre 2018, atelier co-organisé avec l'ESIGELEC et l'Université le Havre Normandie.

Ces travaux de recherche ont également été publiés et présentés dans les conférences internationales MOPGP et AFROS. La communication dans la conférence MOPGP a été sélectionnée pour publication dans le journal “Annals of operations research”. L'article correspondant a été soumis en juin 2018. En avril 2019, les travaux ont été présentés dans la conférence internationale ICMSAO’19.

## Développement de la robotique dans le contexte de l'Usine du futur

Pour qu'un robot mobile puisse transporter des pièces dans un atelier de production il faut qu'il puisse se localiser et être capable de choisir un chemin rapide et libre pour son passage. Quand il y a plusieurs robots, il faut établir une communication efficace et intelligente et un comportement collaboratif entre eux pour éviter des situations de blocage où il faut gérer des problèmes d'embouteillages de robots par exemple.

Nous avons travaillé sur le développement d'un robot mobile à bas coût (inférieur à 100€) capable de se localiser et de cartographier son environnement. Nous avons utilisé Robotic Operating System (ROS) qui est un ensemble d'outils et de bibliothèques développés pour la robotique. Nous avons utilisé des cartes Raspberry Pi3 pour l'installation du système d'exploitation linux et l'installation par la suite de ROS. Comme on peut le voir sur la Figure 16 nous avons aussi utilisé une carte arduino pour assurer la communication avec le capteur ultrason et les moteurs. Le capteur utlrason est placé sur un servo-moteur pour effectuer un balayage de 180° en avançant. Nous avons utilisé les moyens de prototypage rapide disponilbe dans le fablab du CESI pour fabriquer les pièces du robot.

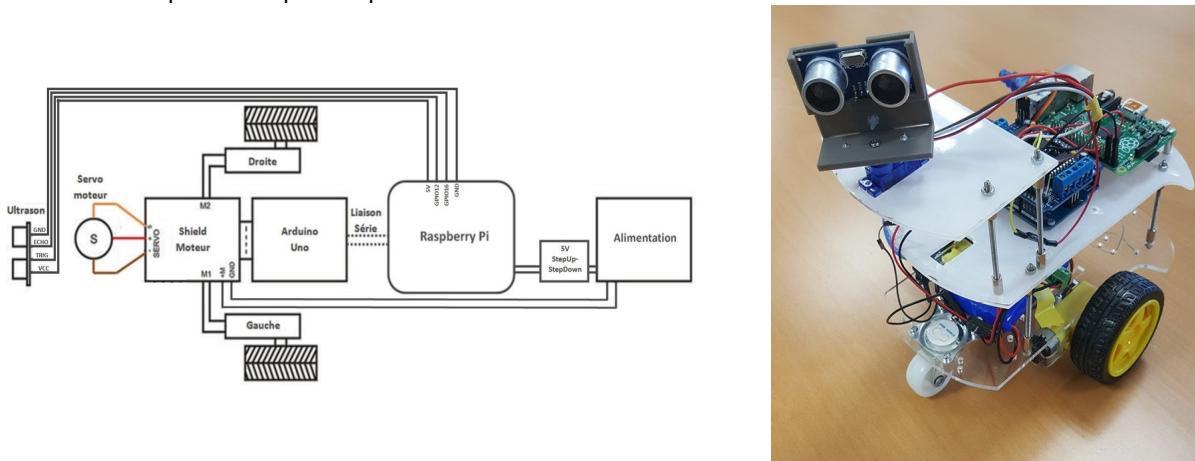


Figure 30 : Conception du robot mobile

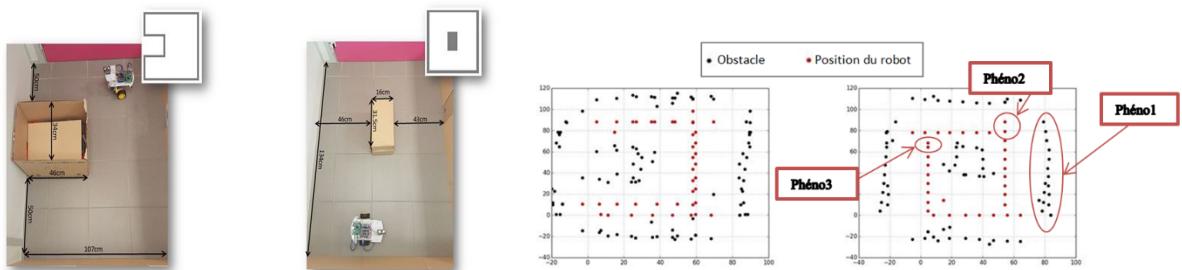


Figure 29 : Cartographie avec le robot bas coût

Nous avons par la suite développé un algorithme permettant d'éviter les obstacles et cartographier l'environnement (SLAM), cela a donné des résultats intéressants sachant que les moteurs n'ont pas d'encodeurs et qu'on n'utilise que le capteur ultrason pour se repérer et percevoir l'environnement. La Figure 17 représente le résultat obtenu en testant deux configurations différentes. Nous avons remarqué que la forme du robot et l'utilisation du capteur ultrason provoque les situations

mentionnées sur la Figure 17. Nous avons profité de l'existence d'un robot qui a été déjà développé au laboratoire pour tester l'algorithme du SLAM avec une caméra de profondeur et les encodeurs des moteurs disponible dans ce robot. La Figure 18 montre les résultats de la cartographie d'une pièce dans le laboratoire.

On travaille actuellement sur le développement du protocole de communication entre les robots pour établir un comportement collaboratif de l'ensemble. Le simulateur multi-agents présenté dans le paragraphe précédent va être utilisé pour tester les méthodes que nous allons développer pour la collaboration des robots.

Tous ces travaux ont donné lieu à trois publications dans la conférence nationale Conférence 2016.

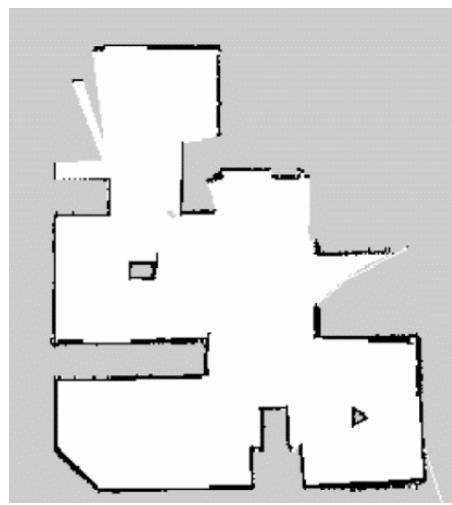


Figure 31 : Cartographie en utilisant le deuxième robot et un camera de profondeur

La suite de ce travail est d'établir la communication entre les robots pour gérer le partage des tâches et des ressources pour le transport. Le but consiste à utiliser les robots pour assurer le transport dans des ateliers de production avec un grand nombre de références de produits et avec la possibilité de travailler avec des humains en toute sécurité.

### Système Cyber-physique et Jumeau Numérique de système de production flexible

Dans le contexte de l'industrie 4.0, nous nous sommes intéressés pour cette dernière phase du projet XTERM à l'intégration des modèles développés et à la proposition d'architecture du système cyber-physique du système de production associé à son jumeau numérique. Ces travaux sont présentés dans les parties suivantes.

#### *Modélisation et simulation multi-agents des systèmes Cyber-Physiques industriels*

En nous basant sur les différents travaux réalisés dans le cadre de ce projet sur la modélisation des systèmes de production dans le contexte de l'industrie 4.0, nous avons proposé une modélisation basée sur des systèmes multi-agents pour la simulation d'un atelier de production considéré comme un système cyber-physique (CPS). Un système cyber-physique industriel, appelé en anglais "Cyber-Physical Production System" (CPPS), représente une composante fondamentale de l'industrie

4.0, qui influence fortement la manière de concevoir, piloter et superviser les ateliers de production et toute la chaîne logistique. En effet, l'utilisation de systèmes contenant des composantes physiques et des composantes informatiques offrant de l'intelligence à ces organes, ouvre le champs d'étude de plusieurs problématiques liées à la modélisation de ces systèmes et leur processus de supervision dans les ateliers de productions. Dans ce travail, nous proposons une architecture fractale multi-agents permettant de représenter l'atelier et ses composantes ainsi que son application sur la tâche de transport dans les ateliers de production flexible.

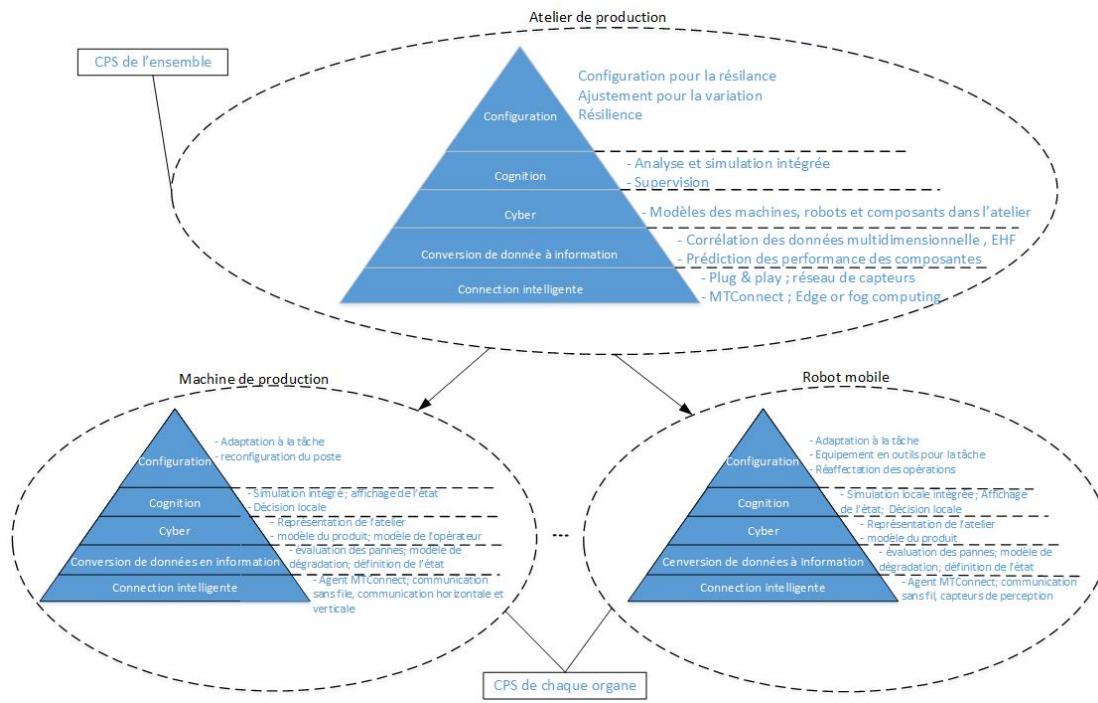


Figure 32 : Représentation fractale d'un système de production cyber-physisque (CPPS)

Nous avons appliqué l'architecture proposée sur un exemple de système de production flexible (FMS) avec une prise de décision distribuée pour la tâche de transport. Le FMS représenté par un système multi-agents composé de cinq agents et a été modélisé et simulé sous NetLogo. La modélisation permet de retrouver le fonctionnement d'un système réel. À travers cette étude nous avons démontré l'efficacité de la modélisation des CPPS par des systèmes multi-agents.

Ces travaux ont fait l'objet d'une présentation dans la conférence internationale ICAAID 2019 et d'une présentation lors du workshop MS2C (modélisation systémique de systèmes cyber-physiques), le 7 juin 2019.

#### *Architecture pour la gestion des données, la visualisation et la supervision du système Cyber-physisque*

Dans le contexte de l'usine du futur, le système cyber-physisque et le jumeau numérique sont des technologies clés pour la gestion de grands jeux de données générées par les objets connectés. Cependant, rendre des composants hétérogènes interopérables et flexibles pour chacun des besoins industriels reste une problématique ouverte. Dans ce travail, nous identifions les besoins de l'usine du

futur et proposons une architecture de bases de données pour le système cyber-physique et nous en détaillons l'utilisation dans différents cas d'usages.

### **Composants et besoins de l'usine du futur**

Le principe de l'usine du futur repose sur la mise en place de quatre principaux composants. Le premier est un ensemble de système générant de la donnée portant sur l'état de l'usine. Citons, par exemple, les objets connectés, les capteurs des machines, les robots mobiles et les outils utilisés par les parties prenantes (tablettes, outil numérique,...). Le second composant est le système d'information permettant de rassembler et d'organiser ces données produites par l'industrie et de les traiter grâce au « fog computing » et au « cloud computing ». Le troisième composant est celui permettant d'interpréter ces données pour en produire de la connaissance et améliorer l'efficience de l'industrie. D'une part, il y a les algorithmes et outils permettant de prendre des décisions de manière automatique : avant, pendant et après le processus de production. D'autre part, il y a les outils, tels que le jumeau numérique, la réalité virtuelle et la réalité augmentée qui sont des outils d'aide à la décision pour les parties prenantes, grâce à leur capacité de représenter l'usine de manière réaliste. Enfin le dernier composant de cette usine du futur comporte évidemment des êtres humains, des systèmes robotiques et des machines qui agissent sur le produit en cours de fabrication.

En plus de tous ces composants hétérogènes de l'usine du futur, il est nécessaire d'identifier les besoins auxquels l'usine doit répondre :

- **Efficience, performance** : chaque entreprise industrielle a pour objectif d'augmenter son niveau d'industrialisation, la qualité de son système d'information et son niveau de digitalisation. La disponibilité des données, au bon moment est un prérequis pour assurer cette efficience du système de production. Cela nécessite d'avoir une architecture de système d'information adaptée.
- **Agilité, flexibilité** : la production doit s'adapter à la demande client et sa volatilité. L'usine du futur peut y répondre en déployant un système de production flexible et adaptable rapidement.
- **Interopérabilité, montée en charge** : puisque l'industrie est composée de systèmes hétérogènes, la problématique d'interopérabilité peut gêner la récupération, l'échange et l'analyse des données pour contrôler la production. De plus, la capacité de supporter une forte montée en charge de la quantité de données est un pré requis pour adapter le système de production.
- **Centré sur l'humain** : Même si l'automatisation est une caractéristique de l'usine du futur, il est indispensable de fournir des outils centrés humains afin d'assister leur décision et d'améliorer leur performance et leur confort. Ainsi, la réalité virtuelle permet de tester en grandeur nature et la réalité augmentée permet d'apporter des données contextualisées et au moment approprié.
- **Sécurité, résilience, robustesse** : L'émergence de ces objets connectés et outils numériques implique une forte dépendance dans l'échange de données. Cela crée une forte interdépendance entre ces différents systèmes, augmente la complexité du système et introduit de nouvelles sources de

vulnérabilité. Il est donc nécessaire d'améliorer la sécurité, la robustesse et la résilience de ce système de systèmes.

### Description de l'architecture proposée

Comme expliqué dans le paragraphe précédent, les personnes et les outils d'aide à la décision ont besoins de données portant sur le système de production afin de prendre les bonnes décisions. Or, les systèmes le composant (capteurs, robots, machine, outil, application utilisés par les travailleurs, ...) ont différentes capacités. C'est pour cela que nous devons définir une manière interopérable d'échanger la donnée entre ces différents éléments. Pour cela, nous avons d'abord identifier les six différentes capacités (voir Figure 33) :

- **Publish data:** le système est capable de publier ses données dans un format propriétaire ou standard, comme MTConnect, renseignant son statut. Pour récupérer cette information, une application externe doit le lui demander.
- **Update data:** le système est capable de mettre à jour de manière autonome les données de son état dans le format de la FOF API
- **Read data:** le système est capable de lire les données contenues dans la FOF API
- **Execute low-level operation:** le système est capable d'exécuter une opération bas-niveau demandée par une application externe. Par exemple, un AGV peut se déplacer à une position spécifique dans l'usine ou un bras robot peut attraper un objet.
- **Execute high-level task:** le système est capable d'exécuter une tâche de haut niveau, stockée dans la FOF API. Une tâche de haut niveau est spécifique à chaque métier industriel. Par exemple dans un atelier flexible de production, la tâche consistant à « bouger le produit X du stock A au stock B » implique d'exécuter une série d'opérations bas niveau entre plusieurs systèmes coordonnés.
- **Make decision :** le système est capable de lire le statut de l'usine grâce à la FOF API e de prendre une décision. Ensuite la décision est transformée en une ou plusieurs tâche(s) de haut niveau.

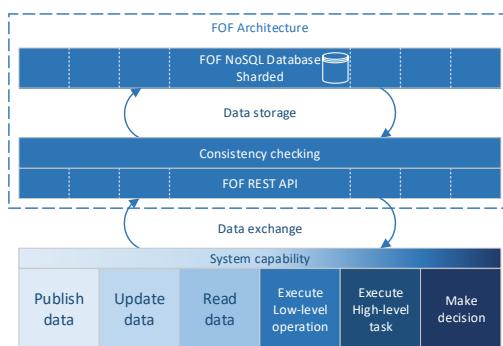


Figure 33: architecture haut niveau, appelée Factory Of the Future (FOF)

En fonction de ses capacités, chaque système lit et met à jour les données en envoyant des requêtes à la FOF REST API (voir Figure 33). Le rôle de ce composant de l'architecture est : (i) d'utiliser le standard HTTP, (ii) de vérifier la validité des données, (iii) de stocker la donnée portant sur le statut du système de production.

L'architecture proposée est basée sur du MongoDB, base de données NoSQL, permettant l'évolutivité du modèle de données. De plus, le système de « sharding » permet de stocker les données sur plusieurs serveurs. Ainsi, la montée en charge et la redondance des données est assurée.

Par ailleurs, puisque le statut du système de production est continuellement à jour, le système peut prendre des décisions rapides et s'adapter en temps réel. Ensuite, chaque décision est transformée en tâche de haut niveau. Dans le prochain paragraphe nous étudierons les différents cas d'usage possibles reposant sur l'architecture présentée.

### Exemples de cas d'usage

L'architecture proposée repose sur le système cyber physique, en place au LINEACT CESI de Rouen. Ce système de production flexible est composé de différents robots avec différentes capacités dans un contexte d'atelier de production (voir Figure 34). Trois robots mobiles assurent les tâches de transport, les tâches de picking sont assurées par des bras robots ou des humains et des postes manuels permettent d'assembler le produit, en plus d'une chaîne de production automatisée qui crée le produit de base. Dans la suite, nous présentons les différents cas d'usage possibles.

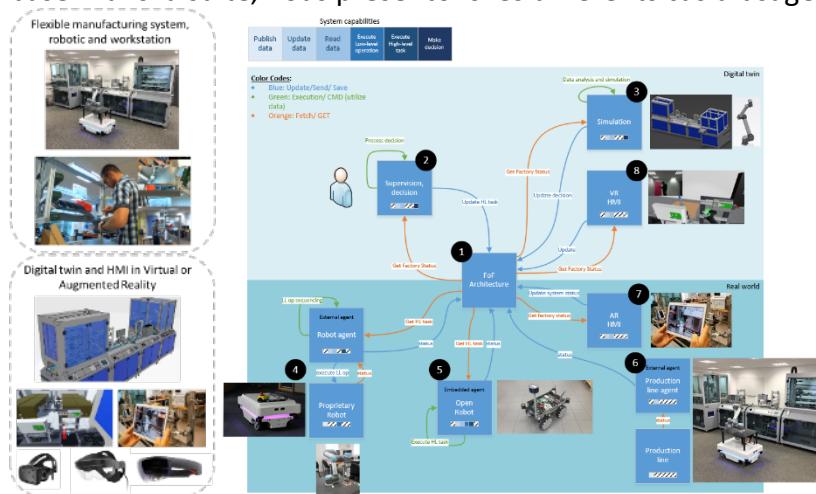


Figure 34: exemple de cas d'usage du système cyber physique basé sur l'architecture FOF proposée.

### Supervision et décision distribuées, basées sur le jumeau numérique

Pour assurer la supervision et la prise de décision, il est possible d'utiliser différents algorithmes. Grâce aux données stockées dans l'architecture FOF (voir Figure 34 – 1), le composant de supervision décision récupère l'état de l'usine (voir Figure 34 – 2) et prend la décision grâce à de l'optimisation mono-objectif ou multi-objectifs ou en se basant sur de la simulation (voir Figure 34 – 3). Si plusieurs solutions sont possibles, les ingénieurs peuvent entrer dans la boucle et utiliser les interfaces en réalité virtuelle pour choisir la solution qui leur paraît la plus pertinente (voir Figure 34 – 8). Une fois la décision prise, les tâches pour les différents systèmes de l'usine sont assignées et stockées dans l'architecture FOF.

### Améliorer les capacités et la flexibilité de robot

En industrie, certains robots propriétaires sont limités dans les opérations bas niveau qu'ils peuvent effectuer, comme se mouvoir à une position spécifique (voir Figure 34 – 4). Afin de les rendre plus flexibles et les rendre capables d'effectuer des tâches de

haut niveau, il est possible de développer un agent externe, qui améliore les capacités du robot (voir Figure 34 – 4 – External agent). Cet agent reporte régulièrement le statut du robot propriétaire. De cette manière, l'architecture FOF stocke ces informations permettant aux autres composants de connaître son état. Ainsi, le composant de supervision décision peut assigner des tâches de haut niveau à ce robot, comme par exemple « déplacer le produit X du stock A au stock B ». L'agent externe du robot gère la synchronisation des opérations et envoie les opérations de bas niveau au robot propriétaire afin qu'il puisse exécuter cette tâche de haut niveau. De manière équivalente, si le robot est ouvert, l'agent peut être directement intégré sur son programme afin de rendre ce robot capable d'effectuer des tâches de haut niveau (voir Figure 34 – 5). Par conséquent, cette architecture permet de gérer une flotte de robots hétérogènes.

#### *Interactions avancée avec le jumeau numérique grâce à la réalité augmentée*

Grâce à l'architecture proposée, la ligne de production peut reporter son statut (voir Figure 34 – 6). Ainsi, si un problème apparaît sur une des machines de production, une information à propos de ce défaut est remontée dans l'architecture FOF. Par conséquent, le composant de supervision décision adapte dynamiquement la production et envoie une tâche de maintenance dans l'architecture FOF et l'assigne à un opérateur compétent et disponible.

Grâce au jumeau numérique, la maintenance est effectuée en réalité augmentée qui est un outil fournissant un contenu adapté et contextualisé à l'opérateur. Une fois la maintenance faite, le statut de la machine est modifié et déclaré comme fonctionnel. Ainsi, le composant de supervision décision modifie à nouveau le planning des tâches de fabrication en prenant en compte cette nouvelle disponibilité.

#### *Jumeau numérique et Interaction Homme Machine en RV*

Dans le contexte de l'usine du futur, le jumeau numérique et la réalité virtuelle sont des technologies clés pour concevoir, simuler et optimiser le système cyber physique et pour interagir à distance avec ou de manière collaborative. De plus ces technologies ouvrent des nouvelles perspectives en termes de co-conception et d'étude ergonomique de postes manuels assisté par des composants de l'usine du futur tels que les cobots. Dans la continuité de travaux de recherche effectués précédemment (Lacomblez et al., 2018), ces travaux présentent une étude de cas portant sur la conception et la validation d'un poste de travail collaboratif entre humain et robot.

#### **Processus de conception**

Cette étude porte sur le poste manuel sur lequel un opérateur collabore avec un bras robot (UR10) afin d'assembler une partie d'un vélo pour enfant (voir Figure 35). L'assemblage se fait en 28 opérations réparties sur 7 feuilles d'instructions. Le bras robot va attraper et présenter les éléments du système à assembler dans des positions et des orientations différentes afin d'assister l'opérateur dans ses étapes (voir les positions (1) à (8) de la Figure 36). L'assemblage final est présenté dans la Figure 36 – (9). En outre, afin d'améliorer l'ergonomie de l'opérateur, les positions

prises par le bras robots doivent être adaptées à l'opérateur effectuant l'assemblage.

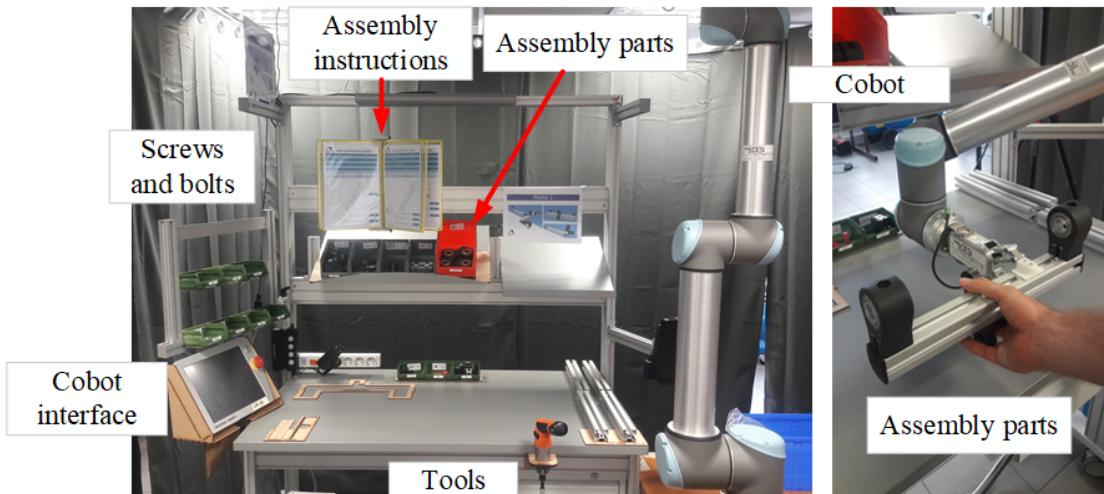


Figure 35: poste manuel avec le bras cobotique.

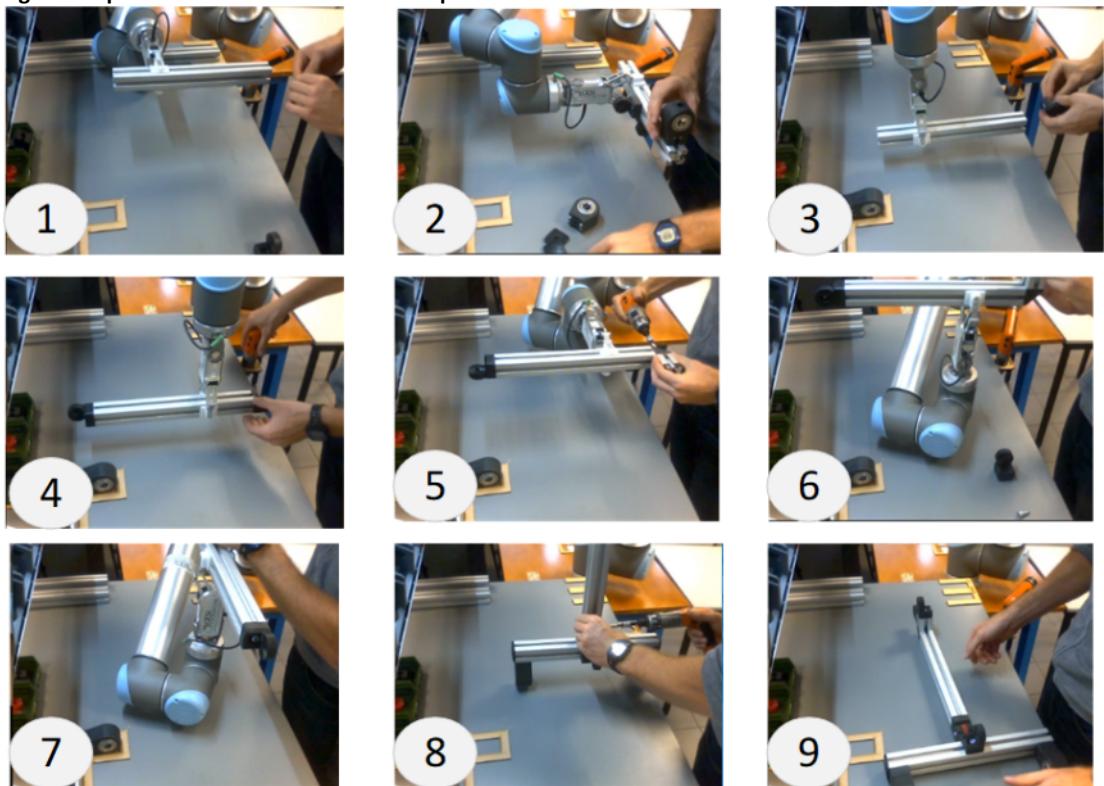


Figure 36: assemblage collaboratif avec le bras robot.

La Figure 37 présente le processus de conception permettant d'intégrer un bras robot sur un poste manuel. Tout d'abord, les premières étapes consistent à produire un design initial du poste manuel, de sélectionner le programme du bras robot et de créer les instructions d'assemblage (voir Figure 37 – Design). De cette manière, le prototype numérique est disponible dans le jumeau numérique. Ensuite, l'ergonomie, la sécurité et la validation du comportement du bras robot sont évaluées en réalité virtuelle (voir Figure 37 – Digital prototype). Plusieurs boucles sont nécessaires entre ces deux étapes.

Enfin, lorsque les parties prenantes valident cette conception, le poste de travail peut être déployé en production. Par ailleurs, la réalité virtuelle permet de former les opérateurs à travailler avec un bras robot dans un Environnement Virtuel pour l'Apprentissage Humain (EVAH) (voir Figure 37 – Production).

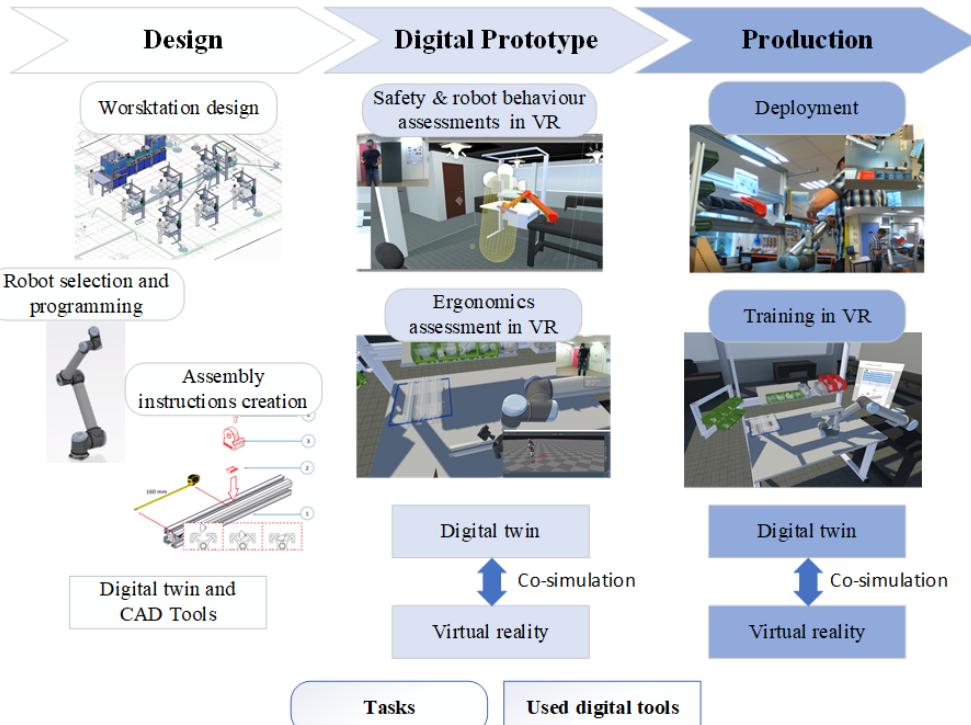


Figure 37: processus de conception impliquant le jumeau numérique et la réalité virtuelle.

### La validation du prototype en réalité virtuelle

#### Sécurité de l'opérateur

Puisque le jumeau numérique du bras robot peut simuler le comportement du bras robot, les ingénieurs peuvent le programmer et ainsi obtenir la cinématique réaliste du bras robot pour passer d'une position à une autre. Grâce à la co-simulation présentée dans des précédents travaux, le comportement réaliste du bras robot est intégré en réalité virtuelle. De cette manière, les ingénieurs peuvent vérifier et ajuster le comportement du bras robot en réalité virtuelle. Par ailleurs, l'ajustement des réglages du bras robots peuvent être faits sans l'équipement réel, ce qui évite d'interrompre le processus de production. Puisque l'homme et le robot partagent un espace commun, il est indispensable de vérifier que ce dernier ne va pas entrer en collision avec l'opérateur et le blesser (voir Figure 38). Ce qui est fondamentalement différent entre la simulation et la réalité virtuelle est que la réalité virtuelle permet à un humain d'agir de manière réaliste, et donc de prendre des risques comme il le ferait en réel. Par exemple, dans la Figure 38, le même opérateur a effectué plusieurs fois la même tâche en réalité virtuelle. Avec l'habitude, il s'est approché du bras robot qui est entré en collision avec lui. Le moteur de réalité virtuelle a détecté celle-ci et le bras robot passe en rouge lorsque cela se produit. Dans un tel cas, la configuration du poste et/ou du programme du bras robot doivent être reconsidérés.

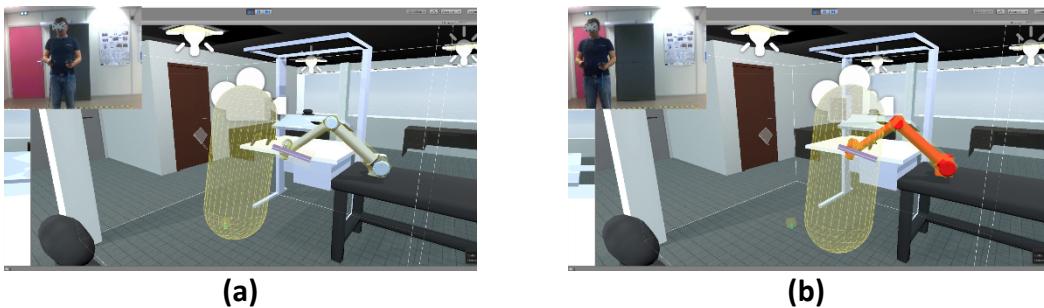


Figure 38: Vérification de la sécurité de l'opérateur grâce à la détection de collision en réalité virtuelle.

#### *Validation de l'ergonomie en réalité virtuelle*

Puisque la réalité virtuelle engage l'opérateur dans le processus, la configuration et l'ergonomie du poste peuvent être validées. Ainsi, les défauts sont détectés avant la mise en place du poste, ce qui réduit les coûts de modifications et de reconception.

Dans ces travaux, nous avons étudiés la possibilité de valider l'ergonomie du poste en testant différentes positions du bras robot : une position haute et une position basse (voir (a) e (b) sur la Figure 39). Afin de sélectionner la meilleure position en fonction de l'opérateur, nous avons pris un opérateur grand et un opérateur petit et leur avons fait effectuer la procédure d'assemblage en réalité virtuelle avec les deux positions du robot. Chaque opérateur était équipé d'une combinaison Perception Neuron Pro, permettant d'obtenir les données squelettes de l'opérateur pendant la procédure. Grâce à cela, il est possible de calculer le score RULA en temps réel (McAtamney and Corlett, 1993).

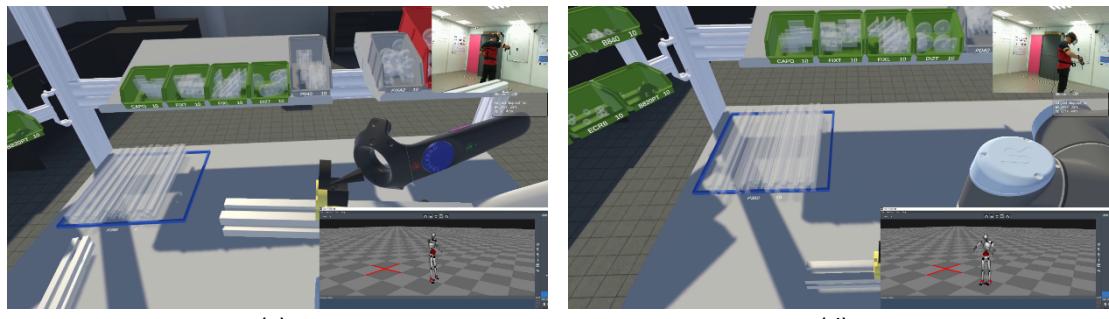
L'approche proposée est pertinente pour 3 raisons. D'une part, le calcul du score RULA sur toute l'opération permet de valider que l'ensemble des étapes évaluées sont ergonomiquement acceptables, contrairement aux approches industrielles actuelles qui n'analysent que quelques étapes clés de la procédure. D'autre part, l'utilisation de la réalité virtuelle permet d'évaluer plusieurs configurations sans occuper un poste manuel réel. Et finalement, la validation de la conception en réalité virtuelle permet de « faire bien du premier coup », et réduire les coûts de reconception. Des illustrations de l'étude pour l'opérateur petit est disponible dans la Figure 39 – (c) (d), et une autre pour l'opérateur grand en (e) (f). Dans cette étude, l'opérateur doit effectuer la première étape qui nécessite d'assembler 4 éléments en environ 1 minute.



(a)  
Bras robot en position haute



(b)  
Bras robot en position basse

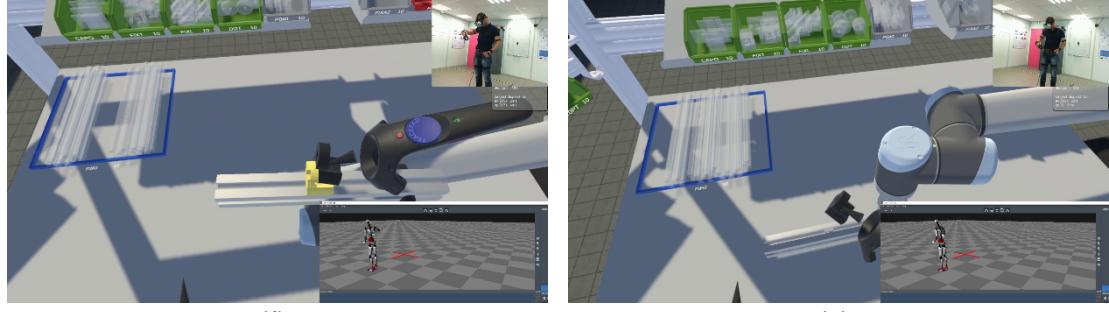


(c)

Opérateur petit travaillant sur la position haute

(d)

Opérateur petit travaillant sur la position basse



(f)

Opérateur grand travaillant sur la position haute

(g)

Opérateur petit travaillant sur la position basse

Figure 39: Validation ergonomique d'un poste manuel en réalité virtuelle grâce aux données squelettes.

La courbe du score RULA calculé pendant l'opération est présentée dans la Figure 40 et la Figure 41. Dans cette figure, la durée est normalisée afin de comparer les deux opérations sur la même échelle de temps.

Afin de trouver la meilleure position du robot en fonction de la taille de l'opérateur, un test statistique de Wilcoxon est effectué entre la position haute et la position basse du bras robot pour chaque opérateur. Pour l'opérateur grand, les résultats du test montrent une différence significative entre la position haute et la position basse ( $W = 2492267$ ,  $p\text{-value} = 1.963e^{-10}$ ). Par conséquent, il est préférable de sélectionner la position haute du bras robot pour l'opérateur grand.

En ce qui concerne l'opérateur petit, le test montre aussi une différence significative ( $W = 2492267$ ,  $p\text{-value} = 1.963e^{-10}$ ). Il est donc aussi préférable de choisir la position haute pour l'opérateur petit.

En conclusion, cette étude a montré la possibilité d'utiliser la réalité virtuelle pour évaluer l'ergonomie d'un poste assisté par un bras cobotique. Les résultats montrent qu'il est possible de sélectionner une position d'un bras robot afin d'améliorer l'ergonomie du poste en fonction de l'opérateur l'utilisant. Cette personnalisation du poste de travail par opérateur est intéressante et offre des perspectives permettant d'améliorer leurs conditions de travail.

Il reste toutefois quelques limitations sur l'usage de la réalité virtuelle. Par exemple, les interactions en réalité virtuelle ne sont pas exactement les mêmes que dans le monde réel. Par exemple, l'opérateur n'attrape pas les composants en réalité virtuelle comme il le ferait en réel, ce qui crée un biais sur le calcul du score RULA. Cependant, puisque l'étude en réalité virtuelle est une étude comparative entre deux positions du bras robot, le biais lié à la manipulation des composants est limité. La méthode est donc appropriée pour une étude comparative.

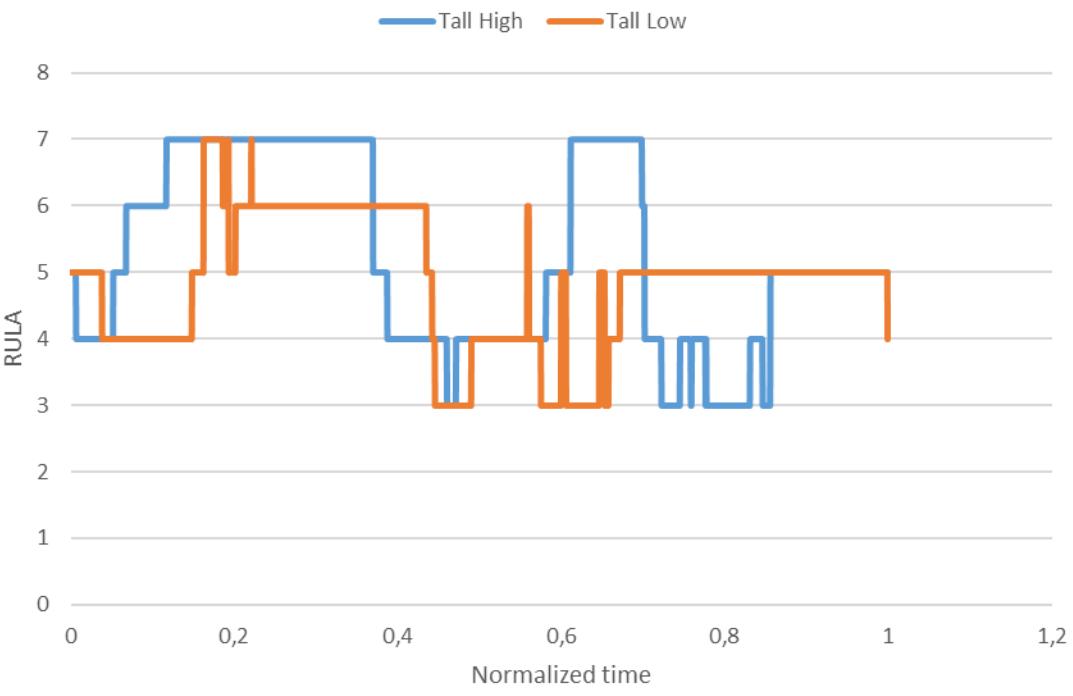


Figure 40: score RULA calculé Durant l’assemblage en rvv pour un opérateur grand, avec le robot en position haute (en bleu) et pour un opérateur grand avec le robot en position basse (en orange).

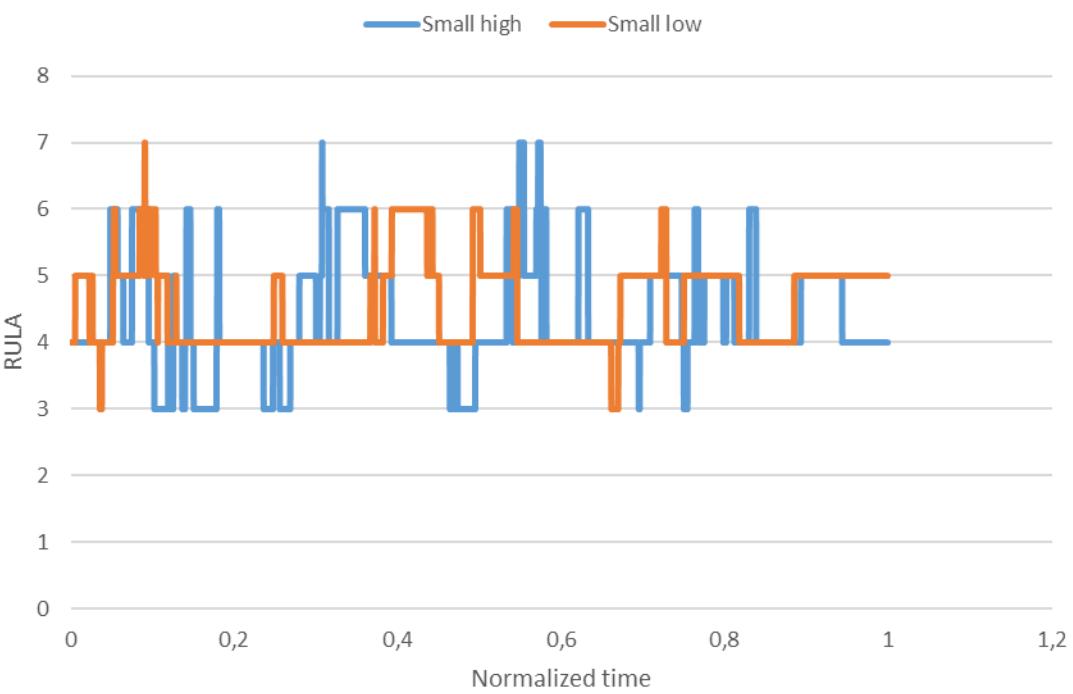


Figure 41: score RULA calculé durant l’assemblage en réalité virtuelle pour un opérateur petit, avec le robot en position haute (en bleu) et pour un opérateur petit avec le robot en position basse (en orange).

### Production scientifique et valorisation

Ces travaux ont fait l’objet d’une publication en 2019 dans la revue internationale « Production & Manufacturing Research ». Ces travaux ont également fait l’objet de différentes communications dans des conférences nationales et internationales listées dans la partie publications.

## **7. Environnement scientifique et diffusion du projet**

---

### **7.1 Contrats associés**

---

Grâce aux développements des travaux menés dans XTERM et à la culture pluridisciplinaire et collaborative qui s'y développe autour des approches systémiques et des réseaux d'interaction, plusieurs contrats ont pu se développer s'appuyant sur cette dynamique scientifique et collaborative.

A ce jour, 3 contrats ANR et 3 conventions CIFRE pilotés ou auxquels les membres de XTERM participent de manière active, ont été lancés depuis la date de démarrage de XTERM (01/10/2015)

#### **Contrats ANR**

- Contrat ANR « Com2sica » coordonné par Damienne Provitolo de GéoAzur (Sophia Antipolis, Nice) a été obtenu en juillet 2017 et va démarrer à l'automne 2017. Dans ce travail pluridisciplinaire qui fait suite à un financement de 2 ans par le CNRS dans le cadre d'un PEPS et d'un financement de l'IDEX de l'université de Côte d'Azur, on s'intéresse à la compréhension et à la simulation des comportements humains sur des territoires en situation de catastrophe. Des modèles de dynamiques sur des réseaux permettent notamment de modéliser la propagation spatiale constraint des différents états émotionnels ou rationnels rencontrés lors de situation de catastrophe. Les équipes et chercheurs impliqués du LMAH et du LITIS prennent en charge les aspects de modélisation. Le consortium académique associe :
  - **Des géographes, géophysiciens** (les UMR Géoazur, Géographie-cités, Espace), **et psychologues** (LPPL, Espace) pour leurs expertises sur les aléas, les vulnérabilités et résiliences, les comportements humains face aux catastrophes, la culture du risque, et leurs compétences dans les méthodes d'entretiens et d'enquêtes, des techniques d'induction d'émotions et de régulation émotionnelle, et de modélisation systémique.
  - **Des mathématiciens, des informaticiens** (LMAH) et géophysiciens (UMR Géoazur) pour leurs expertises en modélisation et simulation à macro-échelle (EDO/EDP) et à micro-échelle basées sur des descriptions comportementales individuelles ou collectives, analyses multicritères et multivariées, l'analyse de la sensibilité aux paramètres de bifurcation, l'analyse de réseaux complexes de systèmes dynamiques couplés, le développement de librairie de réseaux dynamiques.

De plus, **des acteurs impliqués dans la prévention et la réduction des catastrophes** viennent soutenir ce projet (Secrétariat Général de la Zone de Défense et de Sécurité de la Préfecture de Police de Paris –SGZDS-, Service Interministériel de Défense et de Protection Civiles de la Préfecture des Alpes-Maritimes –SIDPC-, Direction pour l'Information sur les Risques Majeurs de la Communauté de l'Agglomération Havraise -DIRM CODAH-, Association SYNERZIP, Direct° de la Prévention des Risques Majeurs, DPGR - Ville de Nice, Serv. Départemental d'Incendie et de Secours des Alpes-Maritimes – SDIS 06) pour

construire l'interface informatique et adapter cette dernière à leurs besoins, s'associer aux exercices de préparation à la crise, donner des clefs de lectures des réactions.

- Contrat ANR DynACEV (coordonnateur : Ludovic Seiffert) obtenu en juillet 2017 sur l'action 2 sur la problématique de l'articulation entre comportement et expérience vécue pour analyser le poids des contraintes sur la mobilité.
- Contrat ANR « Fractal Grid » coordonné par N. Retiere G2ELAB Grenoble. Participants: Jean-Guy Caputo et Arnaud Knippel (Mathématiciens, LMI, INSA de Rouen), P. Frankhauser (Géographe, laboratoire Théma, Besançon) et G. Kariniotakis (Physicien, Ecole des Mines, antenne Sophia-Antipolis). Le projet analyse l'organisation multiéchelle des smart grids et développera des nouvelles architectures fractales. Il montrera comment la structure des réseaux électriques intelligents impacte leurs performances et comment une topologie autosimilaire peut bénéficier à l'ensemble du système électrique, des producteurs aux consommateurs. Pour cela, le réseau sera étudié en partant de la distribution territoriale du bâti et des usages pour ensuite remonter dans les différentes couches du réseau jusqu'au réseau de transport.  
La participation du LMI consiste à déterminer la robustesse et la stabilité d'un réseau électrique. L'étude du modèle équation d'onde de graphe s'est révélée très fructueuse. Nous avons commencé à classer les graphes suivant leur valeurs propres. Nous avons aussi analysé l'effet de non-linéarités (thèse d'Imène Khames) et travaillé sur la détection d'une source sur le réseau.

#### Conventions CIFRE

- Thèse CIFRE est en cours au GREAH depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2016 avec une grande entreprise logistique et porte sur des problématiques de robotisation d'entrepôts logistiques. L'accord de confidentialité ne nous permet pas d'en dire plus sur le sujet.
- Thèse CIFRE (entreprise : Fédération Française de Natation) de David Simbana sur les problématiques de mobilité contrainte en natation avec soutenance le 19/02/2018.
- Thèse CIFRE (entreprise : Raidlight) de Nadège Rochat sur les problématiques de mobilité contrainte en trail-running avec soutenance le 20/11/2017.

#### 7.2 Réunions de fonctionnement du projet

---

Plénières de l'action n°2 (IDEES - LITIS) :

- **10 Novembre 2016** - Rouen, Bernard Elissalde, Françoise Lucchini, Julien Baudry, Lény Grassot, Armelle Couillet, Sylviano Freiré-Diaz, ..., Evolution des chantiers du programme et préparation du rapport d'activité.
- **17 Janvier 2017** - Rouen, Bernard Elissalde, Françoise Lucchini, Julien Baudry, Armelle Couillet, Sébastien Rey, ..., Définition du profil de l'ingénieur d'études

à recruter, préparation de la plénière XTerm du 3 février 2017 (INSA de Rouen), programmation des étapes et protocoles pour chaque chantier.

Réunions avec des partenaires du Projet XTerm (action 2 – Laboratoire IDEES) :

- **28 Mars 2017** - Le Havre, Aziz Alaoui, Françoise Lucchini, Julien Baudry, Sébastien Rey, Bernard Elissalde, Armelle Couillet, Olivier Gillet, Discussions sur les graphes et les systèmes complexes.

Réunions avec des personnalités extérieures au Projet XTerm (action 2):

- **26 Janvier 2015** - Rouen, Françoise Lucchini, Bernard Elissalde, Lény Grassot, Yves Salamand, Kawtar Zahid, Solène Gasnier, Visite de Mr Thierry Brasset de la CREA et présentation du prototype de la plate-forme de simulation de la mobilité urbaine à partir de la téléphonie mobile SILPE.
- **12 Janvier 2017** - Rouen, Nawal El Boustani, Françoise Guyot, Françoise Lucchini, Bernard Elissalde, Julien Baudry, Sylviano Freiré-Diaz, Présentation aux représentantes des services « Normandie Valorisation » (Françoise Guyot) et « valorisation de la recherche » (Nawal El Boustani) des travaux effectués sur les pulsations urbaines dans Xterm à partir des données de la téléphonie mobile et des réseaux sociaux.
- **26 Juin 2017** - Rouen, Christine Canet, Nawal El Boustani, Françoise Guyot, Françoise Lucchini, Bernard Elissalde, Présentation à Normandie Valorisation des travaux effectués sur les pulsations urbaines dans Xterm à partir des données de la téléphonie mobile et des réseaux sociaux.
- **24 Janvier 2018** - Le Havre, Cyril Chedot, Charlotte Bellanger, Bernard Elissalde, Olivier Gillet, Présentation des travaux effectués sur les pulsations urbaines dans Xterm à partir des données des réseaux sociaux.
- **4 juin 2018 – CCI** Le Havre Robin Potté, Aude Phillippe, Bernard Elissalde, Françoise Lucchini, Julien Baudry : Présentation des travaux universitaires à la CCI
- **25 Janvier 2019 – CEREMA** Le Grand Quevilly, Arnaud Laubu directeur du CEREMA de Grand Quevilly, Jérôme Savary, Responsable du groupe Modélisation des déplacements CEREMA, Bernard Elissalde, Françoise Lucchini, Présentation des travaux de recherche scientifique utilisant les données numériques librement partagées (téléphonie mobile et réseaux sociaux) et leurs apports/limites pour la compréhension et la simulation des mobilités urbaines et territoriales.

Réunions équipe (action 2 – Laboratoire IDEES, liste non-exhaustive) :

- **9 mars 2016** - Rouen, Bernard Elissalde, Françoise Lucchini, Lény Grassot, Travail de valorisation des travaux pour apparaître sur le site web de l'UMR IDEES (mise en ligne d'un résumé et visualisations animées sur la téléphonie mobile).
- **5 Juillet 2016** - Rouen, Bernard Elissalde, Françoise Lucchini, Préparation du festival International de Géographie (FIG, 1er Octobre 2016).
- **16 Mars 2017** - Rouen Neoma Business School (Second Edition Research Day), Lény Grassot, Bernard Elissalde, Françoise Lucchini, Julien Baudry, Olivier Gillet, Présentation d'un poster "Modéliser des événements urbains".

- **27 Avril 2017** - Visioconférence, Bernard Elissalde, Françoise Lucchini, Olivier Gillet, Julien Baudry, Armelle Couillet, Définition des cinq chantiers pour le WorkPackage n°2.
- **22 Mai 2017** - Visioconférence, Bernard Elissalde, Françoise Lucchini, Olivier Gillet, Lény Grassot, Jonathan Hani, Catégorisation des usagers du réseau social Twitter (classifications mixtes), travail de modification de l'algorithme de clustering DBSCAN, préparation ECTQG 2017 et discussions sur la modélisation multi-agents.
- **7 Juin 2017** - Visioconférence, Bernard Elissalde, Françoise Lucchini, Olivier Gillet, Sylviano Freire-Diaz, Discussions sur les indices globaux issus de la théorie des graphes et recherche pour fabriquer un indice local.
- **10 Aout 2017** - Visioconférence, Bernard Elissalde, Françoise Lucchini, Olivier Gillet, Préparation ECTQG 2017.
- **15 Septembre 2017** – Rouen, Bernard Elissalde, Françoise Lucchini, Olivier Gillet, Préparation du rapport d'activité (période Janvier-Aout 2017).
- **21 Septembre 2017** - Visioconférence, Bernard Elissalde, Françoise Lucchini, Olivier Gillet, Lény Grassot, Discussions sur les inputs et les outputs de la plate-forme de simulation multi-agents.
- **03 Octobre 2017** - Visioconférence, Bernard Elissalde, Françoise Lucchini, Olivier Gillet, Préparation de SAGEO 2017.
- **27 Octobre 2017** - Visioconférence, Bernard Elissalde, Françoise Lucchini, Olivier Gillet, Armelle Couillet, Discussion sur les méthodes de DataVisualisation.
- **21 Novembre 2017** - Visioconférence, Bernard Elissalde, Françoise Lucchini, Olivier Gillet, Discussions sur les résultats et les orientations des différents chantiers du WorkPackages n°2.
- **14 Décembre 2017** - Visioconférence, Bernard Elissalde, Françoise Lucchini, Olivier Gillet, Elaboration d'indices de similarité spatiale et hiérarchique.
- **31 Janvier 2018** – Visioconférence, Bernard Elissalde, Françoise Lucchini, Olivier Gillet, Préparation du rapport d'activité (période Septembre-Décembre 2017).
- **5 février 2018** – point d'étape méthodologie , Sébastien Rey, Olivier Gillet
- **15 mars 2018** – Préparation de l'intervention au colloque du CIST , Bernard Elissalde, Françoise Lucchini, Sébastien Rey, Olivier Gillet, Armelle Couillet
- **14 mai 2018** – Visioconférence Préparation de l'intervention au colloque RFTM Lyon, Françosie Lucchini, Bernard Elissalde, Olivier Gillet, Sébastien Rey, Lény Grassot
- **21 juin 2018** – point d'étape simulation, Françoise Lucchini, Bernard Elissalde, Sébastien Rey, Olivier Gillet, Lény Grassot
- **23 novembre 2018** – Travail pour diminuer le temps de calcul pour la simulation , Sébastien Rey, Olivier Gillet.
- **7 janvier 2019** – Article Mappemonde reviewé Bernard Elissalde, Françoise Lucchini
- **29 janvier 2019** - Préparation d'un protocole d'analyse des hashtags , Françoise Lucchini, Sébastien Rey, Olivier Gillet
- **1<sup>er</sup> Février 2019** – Préparation de la participation au colloque RFTM 2019, Françoise Lucchini, Bernard Elissalde

- **6 février 2019** – Préparation du Rapport intermédiaire Xterm, Françoise Lucchini, Bernard Elissalde
- **25 février 2019** – Réunion préparation de l'achat de nouvelles données téléphoniques, questions sur le nouveau format de données, Françoise Lucchini, Julien Baudry, Bernard Elissalde, et Direction des projets innovants chez Orange
- **18 juin 2019** – Préparation de l'intervention au colloque XTERM 2019, Françoise Lucchini, Bernard Elissalde

Réunions équipe (action 3) :

- 11 mars 2016 : réunion du WP1
- 05 juillet 2016 : réunion de restitution du WP1 en présence des laboratoires LITIS (C. Bertelle et S. Balev) et LMAH (N. Corson) pour préparer le WP2
- 16 septembre 2016 : réunion de transition entre WP1 et WP2 (déjà mentionnée dans le rapport scientifique de la remontée précédente)
- 04 novembre 2016 : Lancement du WP2
- 13 janvier 2017 : Etat de l'art et modélisation : 1ères restitutions, discussions
- 03 mars 2017 : présentation du modèle théorique
- 28 avril 2017 : travail d'avancement et de vérifications des paramètres comme des données disponibles pour le modèle théorique
- 13 juillet 2017 : préparation de la phase de développement (recrutement, présentation)

Réunion du 30 mars et 15 juin : P. Sajous et P. Jeanne pour le traitement et analyse de l'enquête CODAH via le logiciel Alceste.

10 Novembre 2017 : territoires de demain. Rencontre scientifique et d'innovation, Hôtel de Région, Rouen

Réunions équipe (action 3) :

- 08 septembre 2017 : avancement du modèle et de la recherche d'un IGR
- 20 octobre 2017 : choix d'un scénario pour le modèle, préparation de l'atelier du 10/11/2017 (rencontre scientifique et innovation)
- 15 décembre 2017 : Présentation et discussion autour des modèles de simulation de déplacements

Réunions équipe (action 3) :

- o 16/02/18 : fin de l'état de l'art et décision sur l'orientation réflexive vers la « multimodélisation » de l'écomobilité
- o 13/04/18 : point d'avancement sur la « multimodélisation » de l'écomobilité, les résultats obtenus sur le télétravail
- o 13/07/2018 : point sur les interventions aux colloques RFTM 7 et 8 juin 2018 et ASRDLF 4 au 6 juillet 2018, orientation des travaux sur le modèle et contenu du livrable
- o 14/09/2018 : **clôture du WP2 et Transition vers le WP3**
- o 16/11/2018 : point sur l'achat collectif d'une table numérique interactive servant à l'ensemble des démonstrateurs Schéma de Formalisation du

- modèle ; évolution du modèle EM3 (sous-modèles, intégration du scénario d'une zone à circulation restreinte, sources de données utilisables, présentation dynamique de la simulation, développement des indicateurs)
- 14/12/2018 : points sur la soumission d'un article à la revue FLUX, sur l'évolution réglementaire (projet de loi d'orientation des mobilités), et sur l'acquisition de la table numérique interactive.
  - 24/01/2019 : point et discussion sur les travaux de Paul SALZE sur le modèle EM3 : Descriptif City Wizard v. 0.1.8 générant des formes urbaines réalistes (création de découpage administratif, réseau routier structurant, réseau de transports en commun, réseau routier secondaire, réseau de pistes cyclables).
  - 07/03/2019 : point sur les soumissions aux colloques XTERM 2019 et RFTM 2019 ; point et discussion sur les travaux de Paul SALZE (City Wizard), point sur l'acquisition de la table numérique interactive et sur la visite par P. SAJOUS et C. BERTELLE de la Halle numérique de l'UTC Compiègne.
  - 09/05/2019 : point sur les soumissions aux colloques XTERM 2019 et RFTM 2019 ;  
point sur l'acquisition de la table numérique interactive livrée en juillet 2019 ; présentation et discussion sur les travaux de Paul SALZE avec le City Wizard ; discussion sur la suite du projet
  - 11/07/2019 : point sur les travaux et les difficultés rencontrées par Paul SALZE dans l'intégration de City Wizard dans le modèle EM3 ; point sur le projet de phase de test avec les acteurs du territoire ; programmation pour le 30/09/2019 d'un moment d'échange sur l'approche pluridisciplinaire du projet XTERM

#### Action 5 :

Séminaires de travail internes de l'équipe projet GREAH : 15 juin 2016 ; 22 septembre 2016 ; 20 octobre 2016 ; 5 janvier 2017 ; 16 mars 2017 ; 19 mai 2017 ; 4 septembre 2017

### 7.3 Organisation de séminaires, conférences et colloques ; conférenciers invités

#### **Organisation de séminaires, conférences et colloques**

- Sajous P., Bertelle C., Organisation de la Session 02 RFTM "Où en est-on du "tournant environnemental" de la mobilité quotidienne? » 1° séance : "Entre ancien et nouveau mondes", 2° séance : " Les méthodes", 2° Rencontres Francophones Transports Mobilités (RFTM), 8 communications, Ecole polytechnique Montréal, Québec, 11-13 juin 2019
- Co-organisation du Workshop WANCSA 2018, "Workshop on Advance in Nonlinear Complex Systems and Applications", à Wuhan, Chine, en juin 2018.  
<https://nonlinear.wtu.edu.cn/Conference.htm>

Ce workshop a réuni les contributions de plus de 30 chercheurs de différents pays, autour de leurs dernières contributions de recherche sur la complexité des systèmes.

- Du 20 au 23 juin 2017, le laboratoire LMRS a organisé conjointement avec nos collègues statisticiens de l'Université du Connecticut-Storrs (USA), les professeurs N. Mukhopadhyay et A. Tartakovsky la conférence internationale "The Sixth International Workshop in Sequential Methodologies (IWSM 2017)" <http://lmrs.univ-rouen.fr/RMR17> dans le cadre des Rencontres Mathématiques de Rouen (RMR 2017).

- Organisation du Workshop WANCSA'2017, "Workshop on Advance in Nonlinear Complex Systems and Applications", Normandie University, Le Havre, France, juillet 2017.

<http://lmauh.univ-lehavre.fr/~alaoui/WANCSA/WANCSA-2017.html>

Ce worlshop a réuni les contributions de plus de 50 chercheurs de 6 pays différents, autour de leurs dernières contributions de recherche sur la complexité des systèmes.

- Colloque international CMR - IDIT

60EME ANNIVERSAIRE DE LA CONVENTION INTERNATIONALE CMR

L'application de la convention par les Etats parties. Quelles divergences ?

Perspectives comparatistes

19 & 20 Mai 2016 – ROUEN

- Organisation au sein de CCS'2016 d'une session satellite D-NeST (Dynamic Networks and Smart Territory Simulation, Control and Self-Organization) à Beurs Van Berlage, Amsterdam, 19-22 Septembre 2016. Valentina Lanza, Imene Khames, M.A. Aziz-Alaoui, C. Bertelle, quatre collègues de cette action, ont participés en tant qu'organisateur ou en tant que conférencier à ce workshop.

<http://litis.univ-lehavre.fr/~bertelle/dnest16/index.html>

- Organisation du symposium « Psychological analysis of trail and ultra trail running races using a situated activity research program » coordonné par D. Hauw lors du *14<sup>th</sup> European Congress of Sport Psychology* (université de Berne, Suisse) dans lequel nous avons fait 3 communications.

- Organisation du symposium « Ecological psychology as a basis for the study of sport expertise» coordonné par M. Dicks lors *14<sup>th</sup> European Workshop on Ecological Psychology (EWEP; Université de Gröningen, Hollande)* dans lequel nous avons fait 4 communications dont 1 directement en relation avec le projet XTerM.

- Organisation du symposium « Pluri-, Inter-, Trans-disciplinarité des recherches en STAPS : Illustration autour du concept d'Ecologie» coordonné par L. Seifert lors du *16<sup>th</sup> International Congress of ACAPS* (Université de Nantes, France) dans lequel nous avons fait 5 communications dont 1 directement en relation avec le projet XTerM.

- Organisation du symposium « Analyser l'activité humaine en contexte à partir d'approches mixtes » coordonné par L. Seifert & D. Adé lors du *16<sup>th</sup> International*

*Congress of ACAPS* (Université de Nantes, France) dans lequel nous avons fait 5 communications dont 2 directement en relation avec le projet XTerM

- Organisation de 2 Symposium à l'European Workshop of Ecological Psychology (EWEP):
  - o Seifert L. (2018). The functional role of movement coordination variability. *15<sup>th</sup> European Workshop of Ecological Psychology (EWEP)*, 12-15<sup>th</sup> June, Toulouse, France
  - o Seifert L. (2018). Exploration, affordances and creativity. *15<sup>th</sup> European Workshop of Ecological Psychology (EWEP)*, 12-15<sup>th</sup> June, Toulouse, France

### Conférenciers invités

- Pergamenchtchikov, S. "Sharp oracle inequalities for drift estimation of ergodic processes from discrete data"-International Workshop "Robust statistics and Financial Mathematics", Tomsk State University, Tomsk, Russia, July 4 -- 6, 2019.
- Pergamenchtchikov, S. "Sequential estimation for stochastic differential and difference equations" - Workshop of Laboratory of Applied Mathematics of Compiègne, Compiègne, France, June 19, 2019.
- Barbu V.S., Beltaief S., Chernoyarov, O., Pergamenchtchikov, S. "Model selection for robust efficient estimation of nonparametric regression with semi-Markov and Lévy noise", 9th International Conference on LEVY processes, juillet 2019, Université Aegean, Samos, Grèce
- Conférence invitée J.-G. Caputo, "Nonlinear waves in forks: sine-Gordon vs shallow Water" au workshop "Nonlinear PDEs on Metric Graphs and Branched Networks", Lorenz center, 27-30 Aout 2018, University of Leiden, Pays-Bas
- Invitation de M.A. Aziz-Alaoui, en tant que Keynote speaker (exposé plénier) à WANCSA'2018 : <https://nonlinear.wtu.edu.cn/Conference.htm>, Workshop on Advance in Nonlinear Complex Systems and Applications, Wuhan, China. June 28 - Jul 03, 2018.
- Invitation de M.A. Aziz-Alaoui, en tant que Keynote speaker à 5thICCD's'2018 : <https://sites.google.com/view/5thiccds2018/> , The 5th International Conference on Complex Dynamical Systems in Life Sciences: Modeling and Analysis (5thICCD's'2018), 10-12 May 2018, Aveiro, Portugal. c
- Invitation de M.A. Aziz-Alaoui, en tant que Keynote speaker à PCFM'2018 : <http://pcfm-ma.iecl.univ-lorraine.fr/conferenciers>, PREMIER CONGRÈS FRANCO-MAROCAIN DE MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES, 16 - 20 avril 2018, Marrakech, Maroc

- Invitation de M.A. Aziz-Alaoui, en tant que Keynote speaker à M2SE'2018 : <http://fpl.ma/M2SE2018/index.html>, Workshop international « Modélisation et Simulation dans les sciences de l'environnement », 23-24 Avril 2018, Larache, Maroc
- Cyrille Bertelle a été conférencier invité au workshop TIMES (Territorial Intelligence for Multi-level Aquity and Sustainability), session satellite au sein de la conférence internationale CCS'2016 à Beurs Van Berlage, Amsterdam, 19-22 Septembre 2016.  
[http://dpt-info.u-strasbg.fr/~collet/TIMES/?CCS%2716\\_Satellite\\_%2338\\_%E2%80%94\\_TIMES&normal](http://dpt-info.u-strasbg.fr/~collet/TIMES/?CCS%2716_Satellite_%2338_%E2%80%94_TIMES&normal)
- Participation de M.A Aziz-Alaoui et C. Bertelle, sur invitation (avec prise en charge du déplacement depuis Paris et du séjour), au colloque organisé à Wuhan-Chine, sur les systèmes dynamiques complexes (2016 Workshop RCNS Wuhan, Workshop on Advance in Nolinear Science and its Applications. RCNS, Wuhan Textile University), les 28 et 29 mai 2016.
- Invitation de M.A. Aziz-Alaoui en tant que conférencier plénier à ZhuZhou-Chine, à ICCSA2016 (<http://iccsa2016.watsci.org/>), Fifth International Conference "Complex Systems and Applications), qui a eu lieu à Hunan University of Technology, 27-29 juin, 2016, à Zhuzhou, China.
- Invitation de M.A. Aziz-Alaoui en tant que conférencier plénier à la conférence internationale, IMAM'2016 (<https://sites.google.com/site/imamerrachidia2016/>), 2nd International Meeting on Applied Mathematics in Errachidia, May 9-12, 2016, Maroc.
- Invitation de M.A. Aziz-Alaoui en tant que conférencier plénier à la 5ème conférence ICM (Fifth International Conference on Mathematical Sciences, ICM2016). United Arab Emirates University, Al-Ain, UAE, 21-24 mars 2016.
- Invitation de Cyrille Bertelle en tant que Keynote Speaker à la conférence internationale ESM'2015 à Leicester, UK, du 25 au 28 octobre 2015
- Invitation de Cyrille Bertelle en tant que conférencier invité à la conférence internationale WSEAS à Barcelone, du 13 au 15 février 2016
- Réunion de travail Captronic, GREAH, LINEACT le 23 mai 2016 au PIL pour l'organisation des deux demi-journées de valorisation à destination du monde industriel
- Seifert L. (2018). An ecological dynamics framework to motor coordination and learning in swimming: Toward a nonlinear pedagogy. *The IXth International Symposium Science and Swimming*, Wroclaw, Poland, 24-25th May.
- Seifert L. (2018). Motor learning in climbing and swimming: A complex system approach. Lecture at *University of Algarve, School of Education & Communication*, Faro, Portugal, 23th April.

- Seifert L. (2018). Applying Ecological Dynamics framework to teaching and coaching. Lecture at *University of Algarve, School of Education & Communication*, Faro, Portugal, 26th April.
- Seifert L. (2018). Toward nested affordances perception. Lecture at *Sheffield Hallam University*, UK, 13<sup>th</sup> March.
- Seifert L. (2018). Landscape of affordances enrichment. Lecture at *Institute of Cognitive Sciences and Technologies, National Research Council*, Rome, Italy, 19<sup>th</sup> March.
- Invitation de Jean-François Brethé par l'Ecole polytechnique de Franceville au Gabon comme conférencier plénier lors de l'Ecole Mathématique Africaine du 4 au 13 avril 2018. Cette école comportait un certain nombre de cours et conférences sur la robotique comme application des mathématiques. Une présentation du projet XTERM a été faite.
- 1-3 Juillet 2019 Conférence invitée de J.G. Caputo , « Oscillations, Transients and Fluctuations in Complex Networks (OTFCN) » International Workshop, Copenhagen.

Pergamenchtchikov, S. and Tartakovsky, A. "Asymptotically Optimal Pointwise and Minimax Changepoint Detection for General Stochastic Models With a Composite Post-Change Hypothesis" - joint international statistical seminar of Rouen University and Tomsk State University, Rouen, France, June 6, 2019.

Albosaily, S. and Pergamenchtchikov, S. "Optimal investment and consumption for spread financial market with logarithmic utility functions considering stochastic volatility"- The 13th International Bachelier Colloquium ``Mathematical Finance and Stochastic Calculus'', Métabief, January, 7 - 12, 2019.

Albosaily, S. and Pergamenchtchikov, S."Optimal investment and consumption for Ornstein-Uhlenbeck spread financial markets" - 9th Congres SMAI, Guidel Plages (Morbihan), France, May 17, 2019.

Barbu, V.S., Beltaief, S. and Pergamenchtchikov, S. "Signal estimation in telecommunication and navigation stochastic systems based on discrete data"  
- XTerM 2019 : COMPLEX SYSTEMS, Territorial Intelligence and Mobility, International Conference, June 26 - 28, 2019, Le Havre, France.

Pergamenchtchikov, S. and Tartakovsky, A. "Asymptotically Optimal Pointwise and Minimax Changepoint Detection for General Stochastic Models With a Composite Post-Change Hypothesis"- European Meeting of Statisticians, July 22, 2019, Palermo, Italie.

Pergamenchtchikov, S. and Tartakovsky, A. "Quickest change-point detection in time series with unknown distributions" -I3M: The 16th International Multidisciplinary

Modeling & Simulation Multiconference, Workshop on Modeling and Simulation in Advanced Physics Technologies (MoSAPT), September 18 - 20, 2019, Lisbon, Portugal.

Pchelintsev, E. and Pergamenchtchikov, S."Model selection method for efficient signals processing from discrete data" -I3M: The 16th International Multidisciplinary Modeling & Simulation Multiconference, Workshop on Modeling and Simulation in Advanced Physics Technologies (MoSAPT), September 18 - 20, 2019, Lisbon, Portugal.

Barbu, V.S., Beltaief, S. and Pergamenchtchikov, S., "Oracle inequalities and robust adaptive efficient estimation for continuous time semi-Markov regression models from continuous or discrete data", juin 2019, Forth International Conference on Stochastic Methods, Divnomorskoye, Russie

#### [\*\*7.4 Collaborations, partenariats, participations à des réseaux, instituts et groupes de recherche ; activités et impacts à l'international\*\*](#)

---

- Septembre 2018, Invitation de Panos Panayotaros de l'UNAM Mexico par J.-G. Caputo et A. Knippel pour la soutenance de thèse d'Imene Khames financée par la région. Panos est spécialiste de systèmes Hamiltoniens et sa visite a permis de poursuivre la collaboration sur les modes de vibration de graphes.
- Septembre 2018, Invitation d'Irene Sciriha, spécialiste de théorie des graphes, par J.-G. Caputo et A. Knippel pour la soutenance de thèse d'Imene Khames financée par la région.
- Fevrier 2019 Invitation J.-G. Caputo, IMAS UNAM Mexico , travail avec P. Panayotaros et G Cruz invitation Dept maths Univ Arizona , seminaire
- Aout 2019 Invitation J.-G. Caputo, IMAS UNAM Mexico financée par ECOS Nord, travail avec P. Panayotaros et G Cruz Sejour Dept maths Univ Arizona, travail avec Moysey Brio
- Participation à la rédaction des feuilles de route du Réseau National des Systèmes Complexes (RNSC), mis en place pour l'ISC-PIF. V. Lanza (LMAH) et C. Bertelle (LITIS) se sont rendus à l'atelier Feuille de route 2017 – 5 jours pour délimiter la complexité. Du 19 au 23 juin, une quarantaine de chercheurs systèmes complexes venus des quatre coins de la France ont participé à l'atelier de rédaction de la Feuille de Route Systèmes Complexes organisé pour définir les grandes orientations de la discipline, ses évolutions, ses limites et ses défis.

Les premières feuilles de routes ont été rédigées dans la cadre des entretiens de Cargèse organisés en 2006 et 2008 et 2010 par le RNSC, en collaboration avec l'ISC-PIF and l'IXXI. Ces entretiens ont permis d'identifier progressivement les grands objets et grandes questions sur lesquelles repose la recherche systèmes complexes.

Près de 10 ans après la rédaction de la première feuille de route, l'ISC-PIF, le RNSC, l'IXXI (Lyon), l'ISCN (Le Havre-Rouen-Caen) et l'XSYS (Toulouse) ont décidé de joindre leurs efforts pour mettre à jour ce document essentiel à la cohésion et la cohérence des systèmes complexes en France. Plus d'une quarantaine de chercheurs ont été invité dans un corps de ferme près de Fontainebleau pour partager pendant 5 jours leur expertise dans des domaines aussi variés que la biologie, l'économie, les mathématiques, le droit, l'informatique ou les sciences politiques. Les travaux – en cours de rédaction- des différents groupes peuvent être consultés sur le site de la roadmap : <https://roadmap.iscpif.fr>.

- Participation de Cyrille Bertelle et de Ludovic Couturier (IDIT) au séminaire Task Force - Axe Seine au Comité des Régions à Bruxelles, les 20 et 21 juin 2017. Une initiative de la Région Normandie qui a emmené une délégation de représentants des mondes académiques et professionnels. Le séminaire « Axe Seine » des 20 et 21 juin 2017 s'inscrit dans la démarche de création d'une Task Force de la Normandie à Bruxelles engagée début 2017, sous l'impulsion du Président Hervé Morin. L'objectif de cette Task Force est de réunir des acteurs privés et publics pour promouvoir conjointement les grands projets et dossiers régionaux auprès des institutions européennes. Ce séminaire d'information et d'échange pour défendre et valoriser l'Axe Seine au niveau européen en est une première concrétisation.
- Collaboration (V. S. Barbu) avec l'équipe de statistique de l'Université Aegean, Grèce (Prof. Alex Karagrigoriou)
- Collaboration (V. S. Barbu) avec l'équipe de statistique de l'Université d'Athènes, Grèce (Prof. Samis Trevezas)
- Collaboration (V. S. Barbu) avec l'Institut de Statistique Mathématique et Mathématiques Appliquées "Gheorghe Mihoc-Caius Iacob" de l'Académie Roumaine (Prof. Vasile Preda)
- Collaboration (V. S. Barbu) avec l'équipe de mathématiques financières de l'Université de Chieti-Pescara, Italie (Prof. Guglielmo d'Amico)
- Collaboration (V. S. Barbu) avec l'équipe de mathématiques financières de l'Université de Rome 1, Italie (Prof. Raimondo Manca)
- Directeur scientifique (S. M. Pergamenshchikov) du Programme de "Professeur Fédéral de la Russie en Mathématiques", 2016 – 2020, Ministère de l'éducation et des Recherches, Moscou, Russie, projet 1.472.2016/1.4
- Collaboration (S. M. Pergamenshchikov) avec Laboratoire d'informatique spatiale de Moscow Institute of Physics and Technology, Moscou, Russie, juin 2017.
- 20 - 23 juin 2017 co-organisation (avec le Département de Statistiques, de l'université de Connecticut – Storrs aux États Unis) de la conférence internationale "The Sixth International Workshop in Sequential Methodologies (IWSM 2017)"

<http://lmrs.univ-rouen.fr/RMR17> dans le cadre des Rencontres Mathématiques de Rouen (RMR 2017)

- Séjour de Ambrosio B. pour 6 mois (janvier 2017 à juin 2017) au Courant Institute of Mathematical Science, New-York University, New York, USA, pour collaboration scientifique sur les systèmes complexes et applications.
- Invitation de Yichao Zhang de Tongji University, shanghai, Chine pendant 15 jours en juillet 2017
- Invitation de Jie Liu, Wuhan University, Chine pendant 15 jours en juillet 2017.
- Invitation de Xiaoliang Xie et Junchan Zhao, Changsha University, Chine pendant 15 jours en juillet 2017.
- Contrat Ecos-Nord avec Universidad Nacional Autonoma de Mexico, co- ordonné par C. Gout (INSA de Rouen). Participants : J.G. Caputo, A. Knippel, I. Khames, Gustavo Cruz (UNAM), Miguel Angel Morales (CIMAT, Guanaguato), Panos Panayotaros (UNAM). Ce contrat a permis notamment le séjour de Imene Khamès à l'UNAM (Mexico) en octobre 2016 et en Septembre 2017 ainsi que le séjour de Jean-Guy Caputo en Aout 2017 à l'UNAM et au CIMAT à Guanaguato. Cette collaboration France-Mexique concerne les équations aux dérivées partielles et les problèmes inverses et leurs applications en physique, biologie et énergie.
- Invitation en Chine-Zhuzhou de Aziz-Alaoui M. pour 10 jours et pour collaboration scientifique, juin 2016.
- Invitation en Chine de M.A Aziz-Alaoui et C. Bertelle à Wuhan Textile University et à Hunan University of Commerce pour établir des collaborations scientifiques du 27 mai au 6 Juin 2016.
- Invitation en Chine-Wuhan de Aziz-Alaoui M. et Bertelle C. en mai 2016 pour le workshop "Advance in Nonlinear Complex Science and its Applications". RCNS, Wuhan Textile University, China May 28-29, 2016. Keynote Speakers
- Invitation en Chine-Zhuzhou de Aziz-Alaoui M. pour 10 jours et pour une conférence plénière lors de la **5th ICCSA** <http://iccsa2016.watsci.org/>, Fifth International Conference Complex Systems and Applications (ICCSA): Hunan University of Technology, June 27-29, 2016. **Zhuzhou**, China. Keynote Speaker.
- Invitation en Inde (IIT Roorkee), de Aziz-Alaoui M., Février 2016, projet IFCAM (Franco-Indien).
- Invitation en Inde (IIT Roorkee), de Ambrosio B., novembre 2015, projet IFCAM (Franco-Indien).

- Participation (S. M. Pergamenshchikov) dans le cadre du projet "New methods and algorithms for joint processing signals and images with unknown parameters in advanced radar and communication systems" (2014-2016), Fonds de recherche de la Russie, responsable Koutoyants, Yu.A.
- Responsable (S. M. Pergamenshchikov) du projet international de l'Université d'État de Tomsk, Russie (2014-2015) "Modern Adaptive Robust Statistical and Quantitative Finance Tools and their applications".
- Responsable (S. M. Pergamenshchikov) du projet international "New statistical methods for signal and image processing with unknown spectral characteristics in complex dynamic systems", Tomsk State University (2016-2018), Grant 16-01-00121, Russian Foundation for Basic Research (RFBR), Leninskii prospect 32/a, Moscow 117334, Russia.
- Responsable (S. M. Pergamenshchikov) du projet international "Effective statistical methods of the information treatment for the complex stochastic systems", Tomsk State University (2017-2019), project 2.3208.2017/PCH, Department of Science and Technology, Russian Ministry of Science and Education, Moscow, Russia.
- Collaboration (V. S. Barbu) avec l'équipe de fiabilité de l'Université Polytechnique de Bucarest, Roumanie (Prof. Anatoli Paul Ulmeanu)
  - Mai 2016 : co-organisation du LMRS (avec le Département des Méthodes et Modèles Mathématiques et le Département de Production et Utilisation de l'Énergie, Laboratoire de Fiabilité, Université Polytechnique de Bucarest) du workshop Research Challenges in Intelligent Energy Systems-Mathematical Models and Applications, 7 mai 2016, Université Polytechnique de Bucarest, Roumanie ([http://www.fiac.pub.ro/index\\_files/Page05.htm](http://www.fiac.pub.ro/index_files/Page05.htm))
  - 20 – 23 juin 2017 co-organisation du LMRS (avec le Département de Statistiques, de l'université de Connecticut – Storrs aux États Unis) de la conférence internationale "The Sixth International Workshop in Sequential Methodologies (IWSM 2017)" <http://lmsm.univ-rouen.fr/RMR17> dans le cadre des Rencontres Mathématiques de Rouen (RMR 2017)
  - du 3 au 5 juillet 2017, co-organisation du LMRS (avec le Laboratoire International de Statistique des Processus Stochastiques et de la Finance Quantitative de l'Université d'État de Tomsk) du Conférence scientifique internationale "Statistiques robustes et mathématiques financières - 2017", Université d'État de Tomsk, Tomsk, Russie.
  - du 9 au 11 juillet 2018, co-organisation du LMRS (avec le Laboratoire International de Statistique des Processus Stochastiques et de la Finance Quantitative de l'Université d'État de Tomsk) du Conférence scientifique internationale "Statistiques

robustes et mathématiques financières - 2018", Université d'État de Tomsk, Tomsk, Russie.

- Le doctorant Khairidine BENALI du GREAH a pu se rendre au salon Innorobo à Paris [16-18 mai 2016] pour se documenter sur les innovations robotiques et les dernières évolutions technologiques.

- Le doctorant Khairidine BENALI du GREAH s'est rendu aux journées Techdays du réseau Robotex à Nantes (15-16 septembre 2016). Ces journées rassemblent les chercheurs, et les ingénieurs qui travaillent sur les équipements les plus récents en particulier il a pu partager ses expériences sur le système d'exploitation robotique ROS.

- JF Brethé a encadré une partie des travaux de thèse de Mme Amel Bouachari, université de Skikda, Algérie lors d'un séjour de 18 mois que Mme Bouachari a effectué au sein du GREAH. Mme Bouachari a pu travailler à l'implémentation d'un manipulateur mobile sous ROS. Sa soutenance de thèse a eu lieu le 17 mai 2016 à Skikda.

- Le laboratoire GREAH a accueilli M Labib Terrissa, collègue algérien de l'université de Biskra en décembre 2015 avec développement d'un programme de travail collaboratif sur le cloud robotics. En effet, une partie des équipements robotiques de la halle pourraient être utilisés lors de ce partenariat. Des articles scientifiques ont été publiés en collaboration avec son équipe sur le cloud robotics, sujet qui semble prometteur pour la mise en œuvre d'essaim de robots en environnement logistique.

- Certains membres de l'action 5 ont participé aux journées nationales de recherche en robotique à Amiens (20-23 octobre 2015) mais le financement a été assuré par une autre ligne budgétaire que Xterm.

- Khairidine Benali, Mourad Kenk, Yassine Nasri assisteront à une journée technique sur ROS (Robot Operating System) le 29 septembre 2017 à Lille.

- Collaboration du CETAPS avec la Fédération Française de Natation (cofinancier de la bourse de thèse CIFRE), le pôle France de l'INSEP, la Fédération Italienne de Natation, le Comité Olympique National Italien, les universités de Rome et de Savoie et l'entreprise Hikob ([www.hikob.com](http://www.hikob.com)) à Villeurbanne. Cela a permis de mettre au point l'analyse du couplage articulaire des membres supérieurs à partir de centrales inertielles étanches, et l'estimation de la vitesse instantanée en natation.

- Collaboration du CETAPS avec les entraîneurs nationaux de la Fédération Française de Hockey sur Glace (FFHG), l'INSEP et des coachs des équipes professionnelles de Caen, Rouen et Amiens pour mettre en place un protocole d'analyse des habiletés perceptivo-motrices, révélateur des contraintes environnementales vécues en match.

- Collaboration du CETAPS avec l'entreprise Raidlight (cofinanceur de la bourse de thèse CIFRE) et l'ISSUL (Université de Lausanne) afin d'analyser l'effet de l'utilisation de matériel d'hydratation (étudier l'effet du poids et du ballottement du matériel) sur les habiletés perceptivo-motrices et l'expérience subjective.
- Mise en open access de 3 algorithmes (programmés sous Matlab et Python) sur le site de l'e-lab (laboratoire dématérialisé) Ecological Dynamics & Sport Performance ; acronym : « e-ecod » (<http://eecd2014.wix.com/e-ecod>) piloté par les collègues du CETAPS et qui a pour but de créer une plateforme internationale d'échange de ressources (e.g., données, publications, algorithme & software, équipement) sur la thématique des systèmes complexes en relation avec les habiletés perceptivo-motrices dans les activités physiques et sportives. Cet e-lab fait partie d'un réseau d'e-lab et e-department dont le programme UniTwin Digital Campus & Complex System (DC & SC) est soutenu par l'UNESCO (<http://unitwin-cs.org>):
- Insertion de l'action 2 dans l'axe « *Médias et territoires* » du GIS CIST (Collège international des sciences du territoire) (<http://www.gis-cist.fr/>) dont l'université de Rouen est partenaire
- Présentation de l'intervention de robotique dans les écoles primaires par Jean-François Brethé à la journée organisée le 7 décembre 2017 au PRSH « mon robot, ma famille et moi »; cette journée a permis par la suite l'émergence d'une proposition de projet pour les RIN recherche.
- du 4 au 6 juillet 2019, co-organisation (avec le Laboratoire International de Statistique des Processus Stochastiques et de la Finance Quantitative de l'Université d'État de Tomsk) de la Conférence scientifique internationale "Statistiques robustes et mathématiques financières - 2019", Université d'État de Tomsk, Tomsk, Russie.
- Collaboration étroite du LITIS-INSA et du LMN avec l'ENSA (Ecole Nationale des Sciences Appliquées) de Kénitra au Maroc : deux thèses en co-tutelle : Maria Zemzami et Ilyas Ed-Daoui soutenues en juillet 2019 (voir thèses), nombreuses publications (avec surtout N. Hmina et N. El Hami), visites des directeurs, encadrants et doctorants.
- Dans le cadre du groupe de travail CESIR/AFSCET (Association Française de Science des Systèmes) avec le soutien de la Fédération MIRES, LINEACT CESI a présenté ses travaux dans le cadre de l'action 5 lors du workshop organisé en juin 2019 par les laboratoires XLIM et IRSEEM sur la modélisation systémique de systèmes cyber-physiques.

## 8. Publications

---

### 8.1 Publications dans des revues scientifiques

---

#### En soumission

1. Arkoun, O., Brua, J.-Y. and Pergamenchtchikov, S. Sequential Estimation for Nonparametric Autoregressive Models - soumis dans « Statistical Topics and Stochastic Models for Dependent Data - Applications in Reliability, Survival Analysis and Related Fields (ISTE, Wiley) », 2019
2. Girardin, V., Konev, V. and Pergamenchtchikov, S. Optimal Robust Information-Based Quick Detection in Autoregressive Models with Unknown Post-Change Distributions. - soumis dans « IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION THEORY »
3. Pchelintsev, E., Povzun, M. and Pergamenchtchikov, S. Improved estimation via model selection method for semimartingale regressions based on discrete data. - soumis dans «Bernoulli», 2019.
4. Albosaily, S. and Pergamenchtchikov, S. Optimal investment and consumption for Ornstein-Uhlenbeck spread financial markets. - soumis dans «Finance and Stochastics», 2019.
5. Yunhua Liao, Mohamed Maama, M. A. Aziz-Alaoui, Consensus dans les réseaux hiérarchiques de petit monde: vitesse de convergence, robustesse du retard et cohérence, IEEE Transactions on Cybernetics, en cours de révision.
6. Yunhua Liao, M.A. Aziz-Alaoui, Yaoping Hou, Ensembles de sommets indépendants dans la somme de Zykov, Mathématiques appliquées discrètes, soumis.
7. Yunhua Liao, M.A. Aziz-Alaoui, Polynômes de Tutte de graphes de remplacement de bord, Mathématiques discrètes, en cours de révision.
8. Yunhua Liao, M.A. Aziz-Alaoui, C. Bertelle, Spectres de réseaux généralisés d'éoliennes: solutions analytiques et applications, Mathématiques appliquées discrètes, en cours de soumission.
9. Paramikta Roy, M. A. Aziz-Alaoui. Deciphering role of inter and intra-city human dispersal on epidemic spread via network reaction-diffusion model. En soumission
10. Pchelintsev, E. and Pergamenshchikov, S. M. Oracle inequalities for the stochastic differential equations. - Preprint, 2017, <http://arxiv.org/abs/1712.06454>, accepted in Statistical inference for stochastic processes
11. Xu. Y, Sahnoun, M., Ben-Abdelaziz, Baudry. D., Multi-objective Flexible Job Shop Transportation Scheduling Problem : Multi-Agent Based Simulation and Optimization Approach, *Submitted to Annals of operation research, june 2018*
12. Salze P., Sajous P., Bailly-Hascoët V., Le système automobile : un malade imaginaire ? soumis à la revue Flux

13. Lucchini F, Gillet O, Elissalde B, Grassot L, Baudry J, Couillet A, Rey S, *Objets connectés et mobilité urbaine : visualiser la mobilité urbaine des usagers de Twitter par les graphes dynamiques*. Revue Mappemonde, accepté en 2019.
14. Lucchini F, Gillet O, Elissalde B, Grassot L, Baudry J, Couillet A, *Réalisation d'un outil de simulation des mobilités urbaines à partir des données Twitter*. Revue Les Cahiers scientifiques du Transport, AFITL/ASDRLF , Janvier 2019.

## 2019

15. V. Havard, B. Jeanne, M. Lacomblez, and D. Baudry (2019), "Digital twin and virtual reality: a co-simulation environment for design and assessment of industrial workstations," *Production & Manufacturing Research*, vol. 7, no. 1, pp. 472–489.
16. Verry, J. & Oulmakki, O., 2019 (accepted). E-commerce et livraisons alimentaires du dernier kilomètre : analyse exploratoire des préférences des consommateurs, *Revue internationale d'urbanisme (RIURBA)*
17. Zemzami M., Elhami N., Itmi M. et Hmina N. « A modified Particle Swarm Optimization algorithm linking dynamic neighborhood topology to parallel computation ». *International Journal of Engineering and Technology (IJATCSE)* Volume 8, N2 pp 112-118. (2019)
18. Zemzami M., Elhami N., Itmi M. et Hmina N. « An evolutionary hybrid algorithm for complex optimization problems». *International Journal of Engineering and Technology (IJATCSE)* Volume 8, N 2, pp 126-133. (2019)
19. Zemzami M., Elhami N., Itmi M. et Hmina N. « Interoperability Optimization using a modified PSO algorithm». *International Journal of Engineering and Technology (IJATCSE)* Volume 8, N2 pp 101-107. (2019)
20. Ed-daoui I., El Hami A., Itmi M., Hmina N., Mazri T., "Resilience assessment as a foundation for systems-of-systems safety evaluation: Application to an economic infrastructure", *Safety Science*, Elsevier BV, Netherlands, DOI: 10.1016/j.ssci.2019.02.030, Vol. 115, pp. 446-456. (2019)
21. Ed-daoui I., Itmi M., El Hami A., Hmina N., Mazri T., "A Study of an Adaptive Approach for Systems-of-systems Integration", *International Journal of System of Systems Engineering*, Inderscience Publishers, UK, DOI: 10.1504/IJSSE.2019.097895, Vol. 9, No. 1, pp. 1-27. (2019)
22. Dammak, K. et El Hami, A. Multi-objective reliability based design optimization of coupled acoustic-structural system. *Engineering Structures*, vol. 197, p. 109389. (2019)
23. Yaich, A. et El Hami A. Multiaxial fatigue damage estimation of structures under random vibrations using Matsubara's criterion. *International Journal of Fatigue*, vol. 124, p. 253-264. (2019)
24. Nguyen, T., Pergamenchtchikov, S.M. Approximate hedging with constant proportional transaction costs in financial markets with jumps. - *Theory of Probability and Its Applications (SIAM)*, 2019, accepted.
25. Pchelintsev, E., Marcokova, M. and Pergamenchtchikov, S. M. Adaptive robust efficient methods for periodic signal processing observed with colours noises. - *Advances in Electrical and Electronic Engineering*, 2019, 17, 3, 270 — 274.

26. Arkoun, O., Brua, J-Y. and Pergamenchtchikov, S.M. Sequential Model Selection Method for Nonparametric Autoregression. - *Sequential Analysis*, 2019, accepted
27. Beltaief, S., Chernoyarov O. and Pergamenchtchikov, S. M. Model selection for the robust efficient signal processing observed with small Levy noise. - *Annals of the Institute of Statistical Mathematics*, 2019, DOI: 10.1007/s10463-019-00726-2
28. Pergamenchtchikov, S.M. and Tartakovsky, A. Asymptotically optimal pointwise and minimax change-point detection for general stochastic models with a composite post-change hypothesis. - *Journal of Multivariate Analysis*, 2019, accepted. <https://doi.org/10.1016/j.jmva.2019.104541>
29. Pchelintsev E., Pergamenchtchikov S.M. Improved model selection method for an adaptive estimation in semimartingale regression models. - *Tomsk State University Journal of Mathematics and Mechanics*. 2019. No. 58. P. 14-31.
30. Barbu V.S., Beltaief S. and Pergamenchtchikov S. M. Robust adaptive efficient estimation for a semi-Markov continuous time regression from discrete data. - *Theory of Probability and Its Applications (SIAM)*, 2019, 64 (1), 156 – 157.
31. Albosaily S., Pergamenchtchikov S. M. Optimal investment and consumption for Ornstein-Uhlenbeck spread financial markets with power utility. - *Theory of Probability and Its Applications (SIAM)*, 2019, 64, (1), 153 - 154.
32. Barbu, V. S., Beltaief, S. Pergamenchtchikov, S. M. Robust adaptive efficient estimation for semi-Markov nonparametric regression models. - *Statistical inference for stochastic processes*, 2019, 22, 2, 187–231
33. Sajous P., Comment la géographie participe à la publicité automobile : la mise en scène du savoir-faire automobile Géographie et cultures, n°108 hiver 2018, p. 233-250
34. Sajous P., « Le télétravail : sur la voie de la banalisation ? Etude à partir d'un cas de télétravail à temps complet (Soho solo, Gers) et d'un cas de télétravail à temps partiel (Safran Nacelles) », *Espace populations sociétés* [En ligne], 2019-2 | 2019, mis en ligne le 19 septembre 2019, consulté le 22 octobre 2019. URL : <http://journals.openedition.org/eps/9089> ; DOI : 10.4000/eps.9089
35. J.-G. Caputo, A. Knippel, and N. Retiere, “*Spectral solution of load flow equations*”, *Engineering Research Express (ERX)*, 2019, (in press)  
<https://arxiv.org/abs/1808.06906>
36. N. Retiere, D. T. Ha et J. G. Caputo, “*Hearing power flows in transmission networks*”, *IEEE systems*, in press, 2019.
37. J.G. Caputo, D. Dutykh and B. Gleyse, “*Coupling Conditions for Water Waves at Forks*”, *Symmetry* 11, 434, 2019.  
<https://www.mdpi.com/2073-8994/11/3/434/pdf>
38. Guignard B., Rouard A., Chollet D., Bonifazi M., Vedova DD., Hart J., Seifert L. (accepted) Coordination dynamics of upper limbs in swimming: Effects of speed and fluid flow manipulation. *Research Quarterly for Exercise in Sport*
39. Rochat N., Seifert, L., Guignard B., Hauw D. (in press). An enactive approach to appropriation in the instrumented activity of trail running. *Cognitive Processing*
40. Silva A., Figueiredo P., Ribeiro J., Morais S., Vilas-Boas JP., Fernandes RJ., Seifert L. (2019). Task constraints and coordination flexibility in young swimmers. *Motor Control*. 29:1-18. doi: 10.1123/mc.2018-0070

41. Guignard B., Rouard A., Chollet D., Bonifazi M., Vedova D., Hart J., Seifert L. (2019). Upper-to-lower limb coordination dynamics in swimming depending on swimming speed and aquatic environment manipulations. *Motor Control*. 3:1-25. doi: 10.1123/mc.2018-0026.
42. Araújo D., Hristovski R., Seifert L., Carvalho J., Davids K. (2019). Ecological cognition: expert decision-making behaviour in sport. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 12:1, 1-25, doi: 10.1080/1750984X.2017.1349826
43. J. G. Caputo, I. Khames, A. Knippel, (2019) "On graph Laplacians eigenvectors with components in {1,-1,0}" , *Discrete Applied Math*, in press (2019). <http://arxiv.org/abs/1806.00072>
44. J.G. Caputo, A. Hamdi and A. Knippel, "Inverse source problem in a forced network", *Inverse Problems*, in press (2019). <https://arxiv.org/abs/1803.04895>
45. Y.Liao, X.Xie, Y.Hou & M.Aziz.Alaoui (2019) "Tutte polynomials of two self-similar network models" , to appear in *Journal of Statistical Physics*.
46. Mabrouk, I. B., & El Hami, A. (2019). Dynamic response analysis of Darrieus wind turbine geared transmission system with unsteady wind inflow. *Renewable energy*, 131, 482-493.
47. Mabrouk, I. B., & El Hami, A. (2019). Effect of number of blades on the dynamic behavior of a Darrieus turbine geared transmission system. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 121, 562-578.
48. Ed-daoui, I., Koulou, A El Hami, N El Hami , A Itmi M,, Hmina, N.(2019) An approach to systems-of-systems structural analysis through interoperability assessment: Application on Moroccan case, *Systems-of-Systems and Reliability*

## 2018

49. Girardin V., Konev V., Pergamenchtchikov S.M. Kullback-Leibler Approach to CUSUM Quickest Detection Rule for Markovian Time Series. - *Sequential Analysis*, 2018, 2018, 37, (3), 322 -- 341.
50. Komar, J., Potdevin, F., Chollet, D., & Seifert, L. (2018). Between exploitation and exploration of motor behaviours: unpacking the constraints-led approach to foster nonlinear learning in physical education. *Physical Education and Sport Pedagogy*, 1–13. doi:10.1080/17408989.2018.1557133
51. Button C., Orth D., Davids K., Seifert L. (2018). The influence of hold regularity on perceptual-motor behaviour in indoor climbing. *European Journal of Sports Sciences*. 18(8): 1090-1099.
52. Orth D., Davids K. , Chow J.Y., Brymer E. Seifert L. (2018). Behavioural repertoire influences the rate and nature of learning in climbing: Implications for individualised learning design in preparation for extreme sports participation. *Frontiers in Psychology*. 9:949 doi: 10.3389/fpsyg.2018.00949.
53. Seifert L., Orth D., Mantel B. Boulanger J., Héault R., Dicks M. (2018). Affordance realisation in climbing: learning and transfer. *Frontiers in Psychology*. 9:820. doi: 10.3389/fpsyg.2018.00820
54. Pergamenshchikov, S. M. and Tartakovsky, A.G. (2018) "Asymptotically optimal pointwise and minimax quickest change-point detection for dependent data." - *Statistical inference for stochastic processes*, 2018, 21 (1), p. 217 -- 259.

55. Pchelintsev, E.A., Pchelintsev, V. and Pergamenshchikov, S. M. (2018) "Improved robust model selection methods for the Levy nonparametric regression in continuous time." - Preprint, November 2018, <https://arxiv.org/pdf/1710.03111v2.pdf>
56. Beltaief, S., Chernoyarov O. and Pergamenshchikov, S. M. (2018) Model selection for the robust efficient signal processing observed with small Levy noise. -- Preprint, November 2018, <https://arxiv.org/pdf/1611.07378.pdf>
57. Arkoun, O., Brua, J.-Y. and Pergamenshchikov, S. M. (2018) Sequential model selection method for a nonparametric autoregression. - In.: "Proceedings of International Scientific Conference "Robust Statistics and Financial Mathematics - 2018 (Tomsk, 9 - 11 July, 2018)" (Pchelintsev, E. and Pergamenshchikov, S. (Eds)), National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia, 2018, p. 4 – 8, <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtis:000635300>
58. Beltaief, S., Chernoyarov, O. and Pergamenshchikov, S. M. (2018) Sharp oracle inequalities for the nonparametric signal estimation in the Lévy regression model - In.: "Proceedings of International Scientific Conference "Robust Statistics and Financial Mathematics - 2018 (Tomsk, 9 - 11 July, 2018)" (Pchelintsev, E. and Pergamenshchikov, S. (Eds)), National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia, 2018, p. 9 - 15 <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtis:000635300>
59. Kabanov, Yu.M. and Pergamenshchikov, S. M. (2018) The ruin problem for Lévy-driven linear stochastic equations with applications to actuarial models with negative risk sums. - Preprint, Janvier 2018, <https://arxiv.org/pdf/1604.06370v2.pdf>
60. Albosaily, S. and Pergamenshchikov, S. M. (2018) Optimal investment and consumption for pairs trading financial markets on small time interval. - Preprint, September 2018, <https://arxiv.org/pdf/1712.04333.pdf>
61. Albosaily, S. and Pergamenshchikov, S. M. (2018) Optimal investment and consumption for Ornstein-Uhlenbeck spread financial markets with logarithmic utility. - Preprint, September 2018, <https://arxiv.org/pdf/1809.08139.pdf>
62. Pchelintsev, E.A. and Pergamenshchikov, S. M. (2018) Adaptive model selection method for a conditionally Gaussian semimartingale regression in continuous time. - Preprint, November 2018, <https://arxiv.org/pdf/1811.05319.pdf>
63. Pergamenshchikov, S. M. and Tartakovsky, A.G. (2018) Asymptotically Optimal Pointwise and Minimax Changepoint Detection for General Stochastic Models With a Composite Post-Change Hypothesis. - Preprint, November 2018, <https://arxiv.org/pdf/1807.09613v2.pdf>
64. Fourdrinier, D. and Pergamenshchikov, S. M. (2018) Sharp non asymptotic oracle inequalities for non parametric computerized tomography model. - Preprint, November 2018, <https://arxiv.org/pdf/1811.08814.pdf>
65. J. G. Caputo, I. Khames, A. Knippel and A. Aceves, "Localized solutions of nonlinear wave equations on networks", J. Phys A 52, 3, (2018).<https://arxiv.org/abs/1804.07628>
66. I. Ed-daoui, M. Itmi, A. El Hami, N. Hmina, T. Mazri. « A study of an adaptive approach for systems-of-systems integration ». In International Journal of Systems of Systems Engineering (2018 in press).

67. I. Ed-daoui, A. El Hami, M. Itmi, N. Hmina, T. Mazri, « Unstructured Peer-to-Peer Systems: Towards Swift Routing ». *Journal of Engineering and Applied Sciences, International Journal of Engineering & Technology*. ISSN: 2227-524X. (2018)
68. Ilyas Ed-daoui, Aicha Koulou, Norelislam El Hami, Abdelkhalak El Hami, Mhamed Itmi, Nabil Hmina, "An Approach to Systems-of-systems Structural Analysis through Interoperability Assessment : Application on Moroccan Case", *International Journal of Engineering Research in Africa*, Trans Tech Publications, Switzerland (Accepted ; In press)
69. Ilyas Ed-daoui, Abdelkhalak El Hami, Mhamed Itmi, Nabil Hmina, Tomader Mazri, "A Contribution to Systems-of-systems Concept Standardization", *International Journal of Engineering & Technology*, vol. 7, no 4.16, pp. 24-27, Science Publishing Corporation Inc, UAE, 2018.
70. Ilyas Ed-daoui, Mhamed Itmi, Abdelkhalak El Hami, Nabil Hmina, Tomader Mazri, "A Deterministic Approach for Systems-of-systems Resilience Quantification", *International Journal of Critical Infrastructures*, Vol. 14, No. 1, Inderscience Publishers, UK, 2018.
71. I. Lucas, M. Cotsaftis, C. Bertelle (2018) Self-Organization, Resilience and Robustness of Complex Systems Through an Application to Financial Market from an Agent Based Approach. *International Journal of Bifurcation and Chaos* 28 (03), 1850044.
72. I. Lucas, M. Cotsaftis, C. Bertelle (2018) Elements of decisional dynamics : An agent-based approach applied to artificial financial market. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science* 28 (2), 023114.
73. M.A. Aziz-Alaoui, M.O.Daher, A.Moussaoui. Permanence and extinction of a diffusive predator-prey model with Robin boundary conditions. To appear in *Acta Biotheoretica*, 2018.
74. B. Ambrosio, M.A. Aziz-Alaoui, A. Yafia. Canard Phenomenon in a Slow-Fast modified Leslie-Gower model *Mathematical Biosciences* , Vol.295, pp:48–54, 2018.
75. B. Ambrosio, V. Phan & M. Aziz-Alaoui. Global Attractor of Complex Networks of Reaction-Diffusion Systems of Fitzhugh-Nagumo Type, to appear in *DCDS-B*, 2017/18.
76. A. Balti, V. Lanza, & M. Aziz-Alaoui. A multi-base Harmonic Balance method applied to Hodgkin-Huxley model, *Mathematical Biosciences and Engineering*, Vol. 15(3), pp:807-825, 2018.
77. K.Belkhodja, A. Moussaoui, M.A. Aziz Alaoui. Optimal harvesting and Stability for a prey-predator model, *Nonlinear Analysis Real World Applications*, Vol.39, 321-336, 2018.
78. Pchelintsev E. A, Pchelintsev V. A and Pergamenshchikov, S. M. Non asymptotic sharp oracle inequality for the improved model selection procedures for the adaptive nonparametric signal estimation problem. - *Communications, Scientific Letters of the University of Zilina*, 2018, 20 (1), 72 -- 76.
79. Pchelintsev, E. and Pergamenshchikov, S. M. Oracle inequalities for the stochastic differential equations. - *Statistical inference for stochastic processes*, 2018, 21 (2), 469 -- 483.
80. Arkoun, O., Brua, J. Y. and Pergamenshchikov, S. Sequential Model Selection Method for Nonparametric Autoregression. Preprint, 2018 :

<https://arxiv.org/submit/2388381>

81. Barbu, V. S., Beltaif, S. Pergamenshchikov, S. M. Robust adaptive efficient estimation for semi-Markov nonparametric regression models. - *Statistical inference for stochastic processes*, 2018, <http://dx.doi.org/10.1007/s11203-018-9186-8>
82. Guignard B., Rouard A., Chollet D., Bonifazi M., Vedova DD., Hart J., Seifert L. (accepté) Coordination dynamics of upper limbs in swimming: Effects of speed and fluid flow manipulation. *Research Quarterly for Exercise in Sport*
83. Rochat N., Seifert, L., Guignard B., Hauw D. (accepté). An enactive approach to appropriation in the instrumented activity of trail running. *Cognitive Processing*
84. Rochat N., Hauw D., Gür G., Seifert L. (2018). Understanding trail runners' activity on online community forums: An inductive analysis of discussion topics. *Journal of Human Kinetics*, 61, 263-276. doi: 10.1515/hukin-2017-0125
85. Rochat N., Hauw D., Seifert, L. (2018). Enactments and design of trail running equipment: an example of carrying systems. *Applied Ergonomics*. pii: S0003-6870(18)30190-X. doi: 10.1016/j.apergo.2018.07.002 **IF : 2**
86. Simbaña-Escobar D., Hellard P., Seifert L. (2018). Modelling stroking parameters in competitive sprint swimming: understanding inter- and intra-lap variability to assess pacing management. *Human Movement Science*. 61, 219-230. **IF : 2.1**
87. Simbaña-Escobar D., Hellard P., Pyne D., Seifert L. (2018). Functional role of movement and performance variability: Adaptation of front crawl swimmers to competitive swimming constraints. *Journal of Applied Biomechanics*. 34, 1:53-64. doi: 10.1123/jab.2017-0022. **IF : 1.31**
88. I. Ed-daoui, M. Itmi, A. El Hami, N. Hmina, T. Mazri. « A study of an adaptive approach for systems-of-systems integration ». In *International Journal of Systems of Systems Engineering* (à paraître).
89. I. Ed-daoui, A. El Hami, M. Itmi, N. Hmina, T. Mazri, « Unstructured Peer-to-Peer Systems: Towards Swift Routing ». *Journal of Engineering and Applied Sciences, International Journal of Engineering & Technology*. ISSN: 2227-524X. (2018)
90. Mishra A., Ambrosio B., Gakkhar S., Aziz-Alaoui M.A. (2018) A Network Model for Control of Dengue Epidemic Using Sterile Insect Technique, to appear in *Mathematical Biosciences and Engineering*, Vol.15(2), pp: 441–460. Doi:10.3934/mbe.2018020
91. Ambrosio B., Aziz-Alaoui M.A., Balti A. (2017/2018) Propagation of bursting oscillations in coupled non-homogeneous Hodgkin-Huxley Reaction-Diffusion systems, to appear in *Differential Equations and Dynamical Systems*. DOI:10.1007/s12591-017-0366-6
92. Sajous P., Bailly-Hascoet V., (accepté), Electromobilité : acteurs, structurations en cours. Etude à partir du cas haut-normand, RTS
93. Rochat, N., Hauw, D., Gür, G., & Seifert, L. (2018). Understanding trail runners' activity on online community forums: An inductive analysis of discussions topics. *Journal of Human Kinetics*, 61

## 2017

94. I. Lucas, M. Cotsaftis, C. Bertelle. Heterogeneity and self-organization of complex systems through an application to financial market with multiagent systems. *International Journal of Bifurcation and Chaos* 27 (17), 1750219.

95. Démare T., Bertelle C., Dutot A., Lévêque L. (2017) Modeling logistic systems with an agent-based model and dynamic graphs, Journal of Transport Geography 62, 51-65
96. Ambrosio B. (2017) Hopf Bifurcation in an Oscillatory-Excitable Reaction-Diffusion system with spatial heterogeneity, International Journal of Bifurcation and Chaos, 27(5).
97. Moussaoui A., Aziz-Alaoui M.A, Yafia R. (2017) Permanence and periodic solution for a modified Leslie-Gower type predator-prey model with diffusion and non constant coefficients, BIOMATH, Vol. 6(1), pp:1-8, 2017.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.11145/j.biomath.2017.07.107>
98. Upadhyay R.K., Mondal A., Aziz-Alaoui M.A. (2017) Synchronisation analysis through coupling mechanism in realistic neural models, Applied Mathematical Modelling, Vol. 44, pp:557–575.
99. Behadili S.F., Bertelle C., George L.E. (2016) Adaptive Modeling of Urban Dynamics during Armada Event using CDRs, International Journal of Information Technology and Computer Science (IJITCS)
100. Behadili S.F., Bertelle C., George L.E. (2016) Human Mobility Patterns Modelling using CDRs, International Journal of UbiComp (IJU) 7 (1)
101. Barbu, V. S., Beltaif, S. Pergamenshchikov, S. M. (2017) Model selection for a semi - Markov continuous time regression observed in the discrete time moments. Procedding of International Workshop "Statistical methods of transmission, reception and processing of information", National Research University "Moscow Power Institute" and National Research Tomsk State University
102. Kamenskii, M., Pergamenshchikov, S. and Quincampoix, M. (2017) Second-order differential equations with random perturbations and small parameters. - Proceedings of the Royal Society of Edinburgh Section A: Mathematics, v. 147, 4, August, pp. 763 -- 779.
103. Sajous P. (2017) Mobilité quotidienne automobile en périurbain francilien et changement environnemental : les apports de la notion de savoir-faire, Flux 2017/1 (n°107)
104. Maria ZEMZAMI, Norelislam ELHAMI, Abderahman MAKHLOUFI, Mhamed ITMI and Nabil HMINA (2017) «Electrical Power Transmission Optimization based on a New Version of PSO Algorithm». (Publié le 22/02/17 DOI: 10.21494/ISTE.OP.2017.0127)
105. Harik El Houssein Chouaib, Guérin François, Guinand Frédéric, Brethé Jean-François,, Pelvillain Hervé, Jean-Yves Parédé (2017) Fuzzy logic controller for predictive vision-based tacking with an unmanned aerial vehicle, Advanced Robotics, January 2017.
106. Guignard B., Rouard A., Chollet D., Seifert L. (2017). The effects of fluid flow manipulation on intersegmental upper limbs coordination in swimming. *Human Movement Science*. 55, 240–254
107. Guignard B., Rouard A., Chollet D., Seifert L. (2017). Behavioral dynamics in swimming: the appropriate use of inertial measurement units. *Frontiers in Psychology*. 8:383. doi: 10.3389/fpsyg.2017.00383 IF : 2.6
108. Guignard B., Rouard A., Chollet D., Hart J., Davids K. Seifert L. (2017). Individual–Environment Interactions in Swimming: The Smallest Unit for

Analysing the Emergence of Coordination Dynamics in Performance? *Sports Medicine*. doi: 10.1007/s40279-017-0684-4. IF : 5.24

109. Rochat, N., Hauw, D., Antonini Philippe, R., Crettaz von Roten, F., & Seifert, L. (2017). Comparison of vitality states of finishers and withdrawers in trail running: An enactive and phenomenological perspective. *PLOS ONE*, 12(3), e0173667. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173667>
110. I. Bel Mabrouk, A.El Hami, L.Walha , B.Zghal,M.Haddar (2017) Dynamic Vibrations in Wind Energy Systems: Application to Vertical Axis Wind Turbine, Mechanical Systems and Signal Processing (IF 4.116), Vol.85, pp 396-414, DOI: 10.1016/j.ymssp.2016.08.034
111. I. Bel Mabrouk, A.El Hami, L.Walha , B.Zghal,M.Haddar (2017) Dynamic Vibrations in Wind Energy Systems: Application to Vertical Axis Wind Turbine, Mechanical Systems and Signal Processing (IF 4.116), Vol.85, pp 396-414, DOI: 10.1016/j.ymssp.2016.08.034
112. I. Bel Mabrouk, A. El Hami, L. Walha, B. Zghal, M. Haddar (2017) Dynamic Response Analysis of Vertical Axis Wind Turbine Geared Transmission System with Uncertainty, *Engineering Structures* (IF 2.258) Vol.139 pp 170-179, DOI: 10.1016/j.engstruct.2017.02.028
113. Ed-daoui I., Itmi, M., El Hami, A., Hmina, N., & Mazri, T. (2017). 'Vers des systèmes de systèmes robustes', *Incertitudes et fiabilité des systèmes multiphysiques*, Vol. 17, No. 2, 2017
114. J.-G. Caputo, I. Khames, A. Knippel et P. Panayotaros (2016) "Periodic orbits in nonlinear wave equations on networks", *J. Phys. A: Math. Theor.* 50 375101. <http://arxiv.org/abs/1702.05304>

## 2016

115. Sajous P., Purevseren M., Sugar M. (2016) Fresh perspectives on urban dynamics : the case of Ulaanbaator (Mongolia) and Le Havre (France Public Administration and Régional Studies (PARS), n° 1 (17)
116. Ambrosio B. & Aziz-Alaoui M. (2016), Basin of attraction of solutions with pattern formation in slow-fast symmetric reaction-diffusion systems, *Acta Biotheoretica*, Vol. 64(4), pp:311-325
117. Corson N., Lanza V., Verdière N., (2016) Hopf bifurcations in directed acyclic networks of linearly coupled Hindmarsh-Rose systems, *Acta Biotheoretica*, Vol. 64(4), pp :375-402.
118. Bonnin M., Lanza V., Corinto F., (2016) A mathematical framework for amplitude and phase noise analysis of coupled oscillators *The European Physical Journal - Special Topics* 225, pp:171-186.
119. Pergamenshchikov, S. M. , Tartakovsky, A.G. (2016) Asymptotically optimal pointwise and minimax quickest change-point detection for dependent data, à paraître dans *Statistical inference for stochastic processes*, 1-43; DOI : 10.1007/s11203-016-9149-x
120. Beltaief S., Chernoyarov, O., Pergamenchtchikov, S. (2016) Model selection for the robust efficient estimation in the Levy nonparametric regression, soumis dans *Stochastic processes and theirs applications*; <https://arxiv.org/pdf/1611.07378v2.pdf>

121. Masmoudi N., Azzag H., Lebbah M., Bertelle C., Jemaa M. (2016) CL-AntInc Algorithm for Clustering Binary Data Streams Using the Ants Behavior, Procedia Computer Science 96, pp : 187-196
122. Duhart C., Sauvage P., Bertelle C. (2016) A Resource Oriented Framework for Service Choreography over Wireless Sensor and Actor Networks, International Journal of Wireless Information Networks 23 (3), pp : 173-186
123. Zhang Q., Aziz-Alaoui M.A., Bertelle C., (2016) Synchronization for networks of coupled nonlinear systems with external disturbances, IMA JOURNAL of Mathematical Control and Information, Vol. 33(2), pp :191-207.
124. Cantin G, Verdière N, Lanza V, Aziz-Alaoui M., Charrier R., Bertelle C. (2016) Mathematical Modeling of Human Behaviors During Catastrophic Events: Stability and Bifurcations, ,International Journal of Bifurcation and Chaos, Vol. 26, No. 10, 1630025.
125. Zhao J, Aziz-Alaoui M.A., C. Bertelle (2016) Sinusoidal disturbance induced topology identification of Hindmarsh-Rose neural networks Science China, Information Sciences, to appear, Vol.59.
126. Zhang Y., Li X., Aziz-Alaoui M., Bertelle C., Guan J., Zhou S. (2016) Knowledge Diffusion in Complex Networks, Concurrency and Computation: Practice and Experience. 13 pages. Published online ([wileyonlinelibrary.com](http://wileyonlinelibrary.com)): 24 Feb 2016, DOI: 10.1002/cpe.3791,
127. Abid W., Yafia R., Aziz-Alaoui M.A, Bouhafa H., Abichou A. (2016) Review on Finite Difference Method for Reaction-Diffusion Equation Defined on a Circular Domain, Discontinuity, Nonlinearity and Complexity, accepted.
128. Upadhyay R., Aziz-Alaoui, M.A., V.R. (2016), Signals and Systems in Learning and Memory, Journal of Nonlinear Systems and Applications, Vol.5(2), 2016, Pages 66-77
129. Tridane A., Yafia R., Aziz-Alaoui M.A. (2016), Targeting the quiescent cells in the cancer chemotherapy treatment: Is it enough? Applied Mathematical Modelling, Vol.40, Issues 7–8, pp:4844–4858.
130. Abid W., Yafia R., Aziz-Alaoui M.A, (2016), Global Dynamics of a Three Species Prey-Predator Competition Model with Holling type II Functional Response on a Circular Domain, Journal of Applied Nonlinear Dynamics, Vol.5(1), pp:93–104.
131. Arkoun, O. and Pergamenshchikov, S. M. (2016) Sequential Robust Estimation for Nonparametric Autoregressive Models. Sequential Analysis, accepted
132. Barbu, V., Beltaif, S. and Pergamenshchikov, S. M. (2016) Robust adaptive efficient estimation for a semi - Markov nonparametric regression models. - Preprint, <http://arxiv.org/pdf/1604.04516v1.pdf>, submitted in Statistical inference for stochastic processes (<http://arxiv.org/abs/1604.04516v1>)
133. Seifert L., Komar J., Araujo D., Davids K. (2016). Neurobiological degeneracy: A key property for functional adaptations of perception and action to constraints. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. 69, 159–165
134. Lucchini F, Elissalde B, Grassot L, Baudry J, 2016, « Paris tweets, Données numériques géolocalisées et évènements urbains », Revue Netcom.

135. 5. Barbu, V. S., Karagrigoriou, A., Makrides, A. Semi-Markov modelling for multi-state systems, *Methodology and Computing in Applied Probability*, 2016; DOI: 10.1007/s11009-016-9510-y

## 2015

136. Berred A., Stepanov A. (2015). Asymptotic Properties of the Number of Near Minimum Concomitant Observations in the Case of Progressive Type-II Censoring. *Metrika* 78, pp. 283-294. (DOI:10.1007/s00184-014-0502-z).
137. S. M. Pergamenshchikov, L.I. Galthouk (2015) Efficient pointwise estimation based on discrete data in ergodic nonparametric diffusions. *Bernoulli*, 21 (4), 2569 - 2594.
138. S. M. Pergamenshchikov, V. Konev (2015) Robust model selection for a semimartingale continuous time regression from discrete data. *Stochastic Processes and their Applications*, 125 (1), 294–326.
139. J.-G. Caputo, G. Cruz- Pacheco and P. Panayotaros (2015) "Bistable reaction-diffusion on a network", *J. Phys. A: Math. Theor.* 48, 075102. <http://arxiv.org/abs/1406.7742>
140. Ales Z., Knippel A. (2015) "An extended edge-representative formulation for K-partitioning prob- lem" International Network Optimization Conference, in *Electronic Notes in Discrete Mathematics (ENDM)*, 8p.
141. Verdière N., Cantin G., Provitolo D., Lanza V., Dubos-Paillard E., Charrier R., Aziz-Alaoui M.A., Bertelle C. (2015) Understanding and simulation of human behaviors in areas affected by disasters: from the observation to the mathematical conception. *Global Journal of Human Social Science*, Volume 15, Issue 10, 2015
142. D.Provitolo et al (2015), Les comportements humains en situation de catastrophe : de l'observation à la modélisation conceptuelle et mathématique. *Cybergeo : Revue européenne de géographie*, article 735, pp: 22 pages (septembre 2015)
143. Abid W., Yafia R., Aziz-Alaoui M.etal, (2015) Global Dynamics on a Circular Domain of a Diffusion Predator-Prey Model with Modfied Leslie-Gower and Beddington-DeAngelis Functional Type, *Evolution Equations and Control Theory*, Vol. 4(2), pp: 115 – 12Z
144. Abid W., Yafia R., Aziz-Alaoui M.etal, (2015) Bifurcation and Stability in a Delayed Predator–Prey Model with Mixed Functional Responses, *International Journal of Bifurcations & Chaos*, Vol. 25(7), pp:1540014.
145. Abid W., Yafia R., Aziz-Alaoui M.etal, (2015) Diffusion Driven Instability and Hopf Bifurcation in Spatial Predator-Prey Model on a Circular Domain, *Applied Mathematics and Computation*, Vol. 260, pp:292–313.
146. TchindaP. Demasse, Tewa J. &, Aziz-Alaloui M. (2015), Bifurcation analysis and optimal harvesting of a delayed predator-prey model . *International Journal of Bifurcation and Chaos*, Vol. 25(1), pp:1550012.

147. Yafia R. and Aziz-Alaoui M., (2015) Stability and Hopf Bifurcation in Predator-Prey Model with Modified Leslie-Gower and Beddington-DeAngelis Functional Response, *Biomath Communications* 2(1).
148. Danca M., Aziz-Alaoui M. & Small M. (2015), A new piecewise linear Chen system of fractional-order: Numerical approximation of stable attractors, *Chinese Physics B*, Vol. 24(6), pp: 060507.
149. Abid W., Yafia R., Aziz-Alaoui M. et al, (2015), Instability and Pattern Formation in Three-Species Food chain Model via Holling type II Functional Response on a Circular Domain, *International Journal of Bifurcation and Chaos*, Vol. 25(6), pp: 1550092.
150. Lucchini F. (2015) Temporalités et rythmes urbains: les interprétations géographiques du temps et les espaces urbains. *Revue L'Information géographique*, vol 79, juin 2015, 28-40.
151. Elissalde B., 2015 « Temporalités de l'espace géographique ». *Revue L'Information géographique*, vol.79, juin 2015.

## [8.2 Communication en conférences, ouvrages et autres publications](#)

---

### **2019**

1. Mourad Kenk, JF Brethé et M Hassaballah. Human-aware Robot Navigation in Logistics Warehouses. ICINCO, 29-31 July 2019, Prague, République Tchèque.
2. V. Havard, M. Sahnoun, B. Bettayeb, and D. Baudry, "An Architecture for Data Management, Visualisation and Supervision of Cyber-Physical Production Systems," in Advances in Manufacturing Technology XXXIII: Proceedings of the 17th International Conference on Manufacturing Research, incorporating the 34th National Conference on Manufacturing Research, 10-12 September 2019, Queen's University, Belfast, 2019, vol. 9, p. 81.
3. M. Sahnoun, Y. Xu, B. Bettayeb, I. Bouzarkouna, D. Baudry, A. Louis, "Fractal modeling of Cyber physical production system using multi-agent systems", The 3rd International Conference on Applied Automation and Industrial Diagnostics (ICAAID), 25-27 September 2019, Elazig, Turkey
4. M. Sahnoun, B. Bettayeb, A. Louis, D. Baudry, « Modélisation et simulation multi-agent des systèmes Cyber-Physiques industriels », Workshop MS2C - Modélisation Systémique de Systèmes Cyber-Physiques, Juin 2019, Poitiers, France
5. Itmi M., Ed-daoui I., El Hami A. "A graph approach for systems of systems resilience". The 6th Annual Conference on Engineering and Information Technology (ACEAIT). March 26-28, Kyoto, Japan, 2019
6. Dammak, K et El Hami, A Reliability based design optimization of transmission loss of a simple expansion chamber muffler, Fifth International Conference on Soft Computing & Optimisation in Civil, Structural and Environmental Engineering 16-19 September 2019 | Riva del Garda, Italy
7. Yaich, A. et et El Hami, A. Coupling reliability-based optimization methods with multiaxial fatigue damage of structures under random vibrations using Matsubara's criterion, Fifth International Conference on Soft Computing &

Optimisation in Civil, Structural and Environmental Engineering 16-19 September 2019 | Riva del Garda, Italy

8. Verny, J., 2019. Le transport maritime au cœur du commerce international, Conférence internationale : *Ports & transports à l'heure de la transition énergétique*, E5T, Dunkerque
9. Verny, J., 2019. Supply chain, logistics and transportation, *Smart Rivers*, Lyon
10. Verny, J., 2019. Digitalisation et transport, *3<sup>e</sup> gala du Digital Transport Club*, Ecole Polytechnique, Paris
11. Verny, J., 2019. Transformation digitale de la supply chain, *Conférence annuelle du club logistique*, Rouen
12. Verny, J., 2019. Digitalisation et blockchain, *conférence FIM*, St Lo
13. Galtchouk, L. and Pergamenchtchikov, S. M. "Sharp oracle inequalities for drift estimation of ergodic processes from discrete data. - In.: "Proceedings of International Scientific Conference "Robust Statistics and Financial Mathematics - 2019 (Tomsk, July 4 - 6, 2019)" (Pchelintsev, E. and Pergamenchtchikov, S. (Eds)), National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia, 2019, p. 20 –25.
14. Povzun M.A., Pchelintsev E.A. and Pergamenchtchikov, S. M. Efficient Nonparametric Estimation of Square-integrable Functions in Continuous Time Regression Models. - In.: "Proceedings of International Scientific Conference "Robust Statistics and Financial Mathematics - 2019" (Tomsk, July 4 - 6, 2019)" (Pchelintsev, E. and Pergamenchtchikov, S. (Eds)), National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia, 2019, p. 43 - 48
15. Tartakovsky, A. and Pergamenchtchikov, S. M. "Asymptotically Optimal Pointwise and Minimax Changepoint Detection for General Stochastic Models With a Composite Post-Change Hypothesis"-In.Proceeding "European Meeting of Statisticians" (July 22-26, 2019, Palermo, Italy), p. 189.
16. Pergamenchtchikov S. M., Tartakovsky A.G. Quickest change-point detection in time series with unknown distributions //The 31th European Modeling and Simulation Symposium. EMSS 2019, 18-20 september 2019, Lisbon : proceedings. Rende, 2019, p. 29-33
17. Pchelintsev E.A., Pergamenchtchikov S. M. Model selection method for efficient signals processing from discrete data //The 31th European Modeling and Simulation Symposium. EMSS 2019, 18-20 september 2019, Lisbon : proceedings. Rende, 2019, p. 90-95
18. Sahnoun M., Xu. Y, Ben-Abdelaziz F., Baudry. D., « Optimization of Transportation Collaborative Robots Fleet Size in Flexible Manufacturing Systems», 8<sup>th</sup> International Conference on Modeling, Simulation and Applied Optimization (ICMSAO 2019), Bahrain, April 15-17, 2019.
19. Salze P, Bailly-Hascoët V, Balev S, Bertelle C, Corson N, Couturier L, Langlois T, Sajous P *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*, Colloque XTERM 2019, session " Territoires et mobilités durables", 26-28 juin 2019, UNLHN, Le Havre
20. Bailly-Hascoët V, *Les dispositifs réglementaires en faveur de l'ecomobilité, dans une perspective de modélisation territoriale*, Colloque XTERM 2019, session " Territoires et mobilités durables", 26-28 juin 2019, UNLHN, Le Havre

21. Salze P., Bailly-Hascoët V., Balev S., Bertelle C., Corson N., Couturier L., Langlois T., Sajous P., *EcoMob-MultiMod (EM3) : un modèle à base d'agents pour explorer les conséquences potentielles de nouveaux dispositifs réglementaires sur la mobilité quotidienne et la qualité de l'air*, 2° Rencontres Francophones Transports Mobilités (RFTM), Ecole polytechnique Montréal, Québec, 11-13 juin 2019
22. Salze P., Bailly-Hascoët V., Balev S., Bertelle C., Corson N., Couturier L., Langlois T., Sajous P., *EM3 : un modèle pour explorer les effets de politiques d'écomobilité sur un territoire urbain*, 14èmes Rencontres de ThéoQuant, Besançon, 6-8 Février 2019
23. Lucchini F., Elissalde B., Conférenciers invités à la Journée Technique CEREMA Normandie – Centre « Quels apports du numérique pour améliorer la connaissance des mobilités et les politiques de gestion du trafic et de sécurité routière ? », Conférence Lucchini F., Elissalde B., « Saisir la mobilité des usagers de Twitter à Paris », 3 octobre 2019, CEREMA Normandie – Centre, Le Grand-Quevilly, [https://www.cerema.fr/system/files/documents/2019/10/3-cerema\\_jt\\_3oct2019\\_f1bev4.pdf](https://www.cerema.fr/system/files/documents/2019/10/3-cerema_jt_3oct2019_f1bev4.pdf)
24. Lucchini F., Gillet O., Elissalde B., Grassot L., Baudry J., Couillet A., 2019, Deux méthodologies pour analyser les mobilités à partir des données de téléphonie mobile, Colloque international XTerM2019 systèmes compleXes, intelligence Territoriale et Mobilité, Le Havre, 27 juin 2019.
25. Lucchini F., Gillet O., Elissalde B., Grassot L., Baudry J., Couillet A., 2019, Variations de stocks et variations de flux : deux compréhensions de la mobilité appréhendée par les données de téléphonie mobile, 2<sup>e</sup> Rencontres Francophones Transport Mobilité, Ecole Polytechnique de Montréal, 12 juin 2019.
26. Hacques, G., Komar, J., Seifert, L. (2019). Transfer of route finding skill in climbing : Why are constant learning conditions insufficient ? *XTERM Congress*, Le Havre, France, June. <HTTPS://XTERM2019.SCIENCESCONF.ORG/>
27. Hacques, G., Komar, J., Seifert, L. (2019). Perceptual-motor learning in climbing : links between fluency and gaze entropy. *International Conference on Perception and Action (ICPA)*, University of Groningen, The Netherlands, 3-6th July. <WWW.ICPA2019.COM>
28. Seifert L., Dicks M., Wittmann F., Wolf P. (2019). Perception of opportunities for action in climbing. *20th International Conference on Perception and Action (ICPA)*, University of Groningen, The Netherlands, 3-6th July.
29. Seifert L. (2019). From research to coaching : Performance analysis and issues for training and learning. *XV Congress Iberic of Swimming (APTN)*, Portimao, Portugal, 26-28th April
30. Seifert L. (2019). The functional role of movement coordination variability : How degenerate neurobiological systems are able to exploit system stability and flexibility in their movement coordination ? *8th meeting of Expertise and Skill Acquisition Network (ESAN)*, St Mary's University, Twickenham, London, 1-2 May
31. Seifert L. (2019). Exploration, affordances & creativity. *8th meeting of Expertise and Skill Acquisition Network (ESAN)*, St Mary's University, Twickenham, London, 1-2 May
32. Seifert L. (2019). Motor coordination in swimming in relation with performance,

- expertise, learning and efficiency. *XVIII Congress of Biomechanics in Brazil*. Manaus, Brazil, 1-4 May
33. Seifert L. (2019). Key ecological dynamics concepts. Lecture at *University of Amazonia*, Manaus, Brazil, 6th May
  34. Seifert L. (2019). Key principles for learning evaluation design and process. Lecture at *University of Amazonia*, Manaus, Brazil, 6th May

## 2018

35. Seifert L., Puel F., Komar J., Guignard B. (2018). How visual information constraints the approach of the wall for tumble-turn? *XIII International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming*. Tuskuba, Japan. 135-139
36. Guignard B., Rouard A., Chollet D., Seifert L. (2018). Coordination dynamics in front crawl swimming: impacts of the environmental constraint on behavioural flexibility. *XIII International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming*. Tuskuba, Japan. 63-70
37. Croft JL., Vial SM., Walsh A., Seifert L. (2018). Measuring fluidity in climbing. *4<sup>th</sup> International rock climbing congress (IRCRA)*. 12-15<sup>th</sup> July, Chamonix, France
38. Hacques G., Komar J., Bourbousson J., Seifert L. (2018). Climbers' learning dynamics : an exploratory study. *4<sup>th</sup> International rock climbing congress (IRCRA)*. 12-15<sup>th</sup> July, Chamonix, France
39. Hacques G., Komar J., Bourbousson J., Seifert L. (2018). Role of route previewing strategies on climbing fluency. *15<sup>th</sup> European Workshop of Ecological Psychology (EWEP)*, 12-15<sup>th</sup> June, Toulouse, France
40. Rochat N., Ganière C., Adé D., Hauw D., Bourbousson J., Hacques G., Seifert L. (2018). Enactive analysis of climbers' activity in learning situations : an entry through experience. *4<sup>th</sup> International rock climbing congress (IRCRA)*. 12-15<sup>th</sup> July, Chamonix, France
41. Lucchini F, Elissalde B, Gillet O, Grassot L, Baudry J, Couillet A, *La mobilité parisienne des usagers de Twitter*. Proceedings of *CIST 2018 (Representing territories)*, 22-23 march 2018, Rouen, FR.
42. Lucchini F, Elissalde B, Gillet O, Grassot L, Baudry J, Couillet A, *Traduire la ville éphémère en graphes dynamiques : la mobilité parisienne des usages de Twitter*. Actes des 1ères Rencontres Francophones Transport Mobilité (RFTM), 6-8 Juin 2018, Lyon, FR.
43. Pergamenshchikov, S. M. "Sequential Model Selection Methods for Nonparametric Autoregression" - International Workshop "Statistical topics and stochastic models for dependent data; applications in reliability, survival analysis and related fields", Stodep 2018, Rouen, October 3-5, 2018.
44. Pergamenshchikov, S. M. "Asymptotic analysis for the stochastic dynamical systems", Seminar of Statistics of Stochastic Processes of International Laboratory of Statistics of Stochastic Processes and Quantitative Finance of National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia, December, 27, 2018.

45. Barbu, V.S., S. Beltaief, S. Pergamenshchikov. Oracle inequalities and robust efficient estimation for semi-Markov nonparametric regression, Séminaire de théorie des probabilités et statistique de l'*Institut de Statistique Mathématique et Mathématiques Appliquées "Gheorghe Mihoc-Caius Iacob"* l'Académie Roumaine, Bucuresti, Roumanie, septembre 2018
46. Verny, J. & Oulmakki, O., 2018. Strategic last mile design: a case study on food delivery in Paris city, *3rd VREF Conference of Urban Freight*, Göteborg (Sweden)
47. Verny, J. & Oulmakki, O., 2018. Stratégies chinoises en Méditerranée : les nouvelles routes de la soie, *colloque de la commission de géographie des transports du CNFG : La gouvernance logistique des territoires*, Gennevilliers
48. Verny, J., 2018. Le digital à la conquête des plates-formes logistiques, *360° FM Logistic*, 2018.09
49. Khairidine Benali, Jean-François Brethé, François Guérin, Marc Gorka (2018), Dual arm robot manipulator for grasping boxes of different dimensions in a logistics warehouse, International conference on industrial technology, ICIT, February, 22, Lyon, France.
50. Jean-François Brethé et al., « quelle place et quelles opportunités pour la robotique dans l'industrie logistique », Nantes le 27 avril 2018, journée GDR GT6 robotique des grands espaces.
51. XU, Y., Sahnoun, M., Abdelaziz, F. B., Baudry, D., & LOUIS, A. Multi-objective Flexible Job Shop Scheduling Problem : Simulation-optimisation Approach, AFROS'18, 2-4 July 2018 Tunis, Tunisia.
52. V. S. Barbu, S. Beltaief, S. Pergamenchtchikov, "Robust adaptive efficient estimation for a semi-Markov continuous time regression from discrete data", Third International Conference on Stochastic Methods, Divnomorskoye, Russie, juin 2018
53. Pergamenshchikov, S. M "Non asymptotic sharp oracle inequalities for nonparametric autoregressive processes" - International Workshop "Statistical methods of transmission, reception and processing of information", Tomsk, Russia, July 9 -- 11, 2018.
54. Pergamenshchikov, S. M "Stochastic differential equations with singular perturbations" – «Innovative Research in Mathematical Finance», CIRM, Marseille, France, September 3-7 2018.
55. Pergamenshchikov, S. M "Minimax quickest changepoint detection for dependent data"- The 12th International Bachelier Colloquium "Mathematical Finance and Stochastic Calculus", Métabief, January 15 - 20, 2018.
56. Pergamenshchikov, S. M . "Minimax quickest change point detection for dependent observation with unknown probability properties" - Seminar of Statistics of Stochastic Processes of International Laboratory of Statistics of Stochastic Processes and Quantitative Finance of National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia, March 7, 2018.
57. A. El Hami and M. ITMI. Reliability of Mechanical System of Systems. 5th International Conference on Computer Science and Information Technology (CoSIT 2018). LITIS Laboratory, February 24-25, 2018, Dubai, United Arab Emirates. (2018)
58. M. Itmi and A. El Hami. Distributed System Approach to Experiment Regional Competitiveness. 5th International Conference on Computer Science and

- Information Technology (CoSIT 2018). LITIS Laboratory, February 24-25, 2018, Dubai, United Arab Emirates. (2018)
59. Corbin, E., Lambourdiere, E. & Verny, J., 2018. Strategic impacts of blockchain technology on food supply chains' information management : a conceptual network, *12e RIRL-SCM*, Paris
60. Verny, J. & Oulmakki, O., 2018. The impacts of the China's Belt and Road Initiative (BRI) on the Baltic Sea Region (BSR), *International Conference The Baltic Sea: gateway or cul de sac?*, Klaipeda (Lithuania)
61. Verny, J., 2018. Comment la transformation digitale va révolutionner le transport et la logistique, *1e conference international sur l'E-Supply Chain*, Agadir (Maroc)
62. Corbin, E., Lambourdiere, E. & Verny, J., 2017. Blockchain technology in sea food supply chains : a case study, *3<sup>rd</sup> PROLOG International Conference*, La Rochelle
63. Verny, J., 2018. Repenser les modèles logistiques autour de l'innovation, *conférence Filière Bois*, St Ouen
64. Verny, J., 2018. Repenser et s'adapter aux flux logistiques de demain : l'exemple des échanges Est-Ouest par voie ferroviaire, *conférence Cosmetic Valley*, Rouen
65. Verny, J., 2018. La solution blockchain pour le secteur transport/logistique, *conférence Inn'Normandie*, Deauville
66. Verny, J., 2018. L'innovation en logistique urbaine, *conférence territoriale La Poste*, Caen
67. Verny, J., 2018. La logistique est-elle un indicateur de la santé économique d'un pays et de sa place sur la scène économique mondiale ?, *conférence SITL – AFLOG*, Villepinte
68. Ilyas Ed-daoui, Abdelkhalak El Hami, Mhamed Itmi, Nabil Hmina, Tomader Mazri, 'Unstructured Peer-to-Peer Systems: Towards Swift Routing', 6th International Conference on Computing, Technology and Engineering (ICCTE 2018), PARKROYAL on Kitchener Road, Singapore, January 10-11, 2018.
69. Charrier R. (2018) Detection algorithm of chaotic failures in a directed couples map network in proceedings of VIII International Congress BIFI 2018, February 6-8, Zaragoza, Spain
70. Philippe J., Charrier R., Bretelle C. (2018) Impact of nervousness propagation on crowd dynamics in proceedings of VIII International Congress BIFI 2018, February 6-8, Zaragoza, Spain
71. Sajous P., Le télétravail : sur la voie de la banalisation ?, Colloque Espaces Populations Sociétés ...en mouvements (pour les 35 ans de la revue) 28 et 29 mars, campus Lille1
72. EcoMob-MultiMod (EM3) : un modèle pour simuler l'écomobilité. Démarche, choix et perspectives de modélisation Salze Paul, Bailly-Hascoet Valérie, Balev Stefan, Bertelle Cyrille, Corson Nathalie, Couturier Ludovic, Langlois Thibaut, Sajous Patricia, Colloque RFTM Lyon, 1ères Rencontres Francophones Transport Mobilité 6-7-8 juin 2018, Vaulx-en-Velin
73. Satisfaction, intentions, dispositions. Quelle approche comportementale pour quelles conséquences sur les inégalités sociales de mobilité dans les modèles de transport ?, Salze Paul, Bailly-Hascoet Valérie, Balev Stefan, Bertelle Cyrille, Corson Nathalie, Couturier Ludovic, Langlois Thibaut, Sajous Patricia, colloque

**2017**

74. Lucchini F., Elissalde B., Gillet O., Baudry J., Grassot L., *Social networks, events and cities*. Proceedings of The European Colloquium on Theoretical and Quantitative Geography, 7-11 September 2017, York, UK.
75. Lucchini F., Gillet O., Elissalde B., Grassot L., Baudry J., 2017 : Des graphes dynamiques pour décrypter la mobilité des usagers de Twitter, Spatial Analysis and GEOMatics, 6 au 9 novembre 2017, Rouen Normandie Université, Rouen (FR)
76. Ilyas Ed-daoui, Mhamed Itmi, Abdelkhalak El Hami, Nabil Hmina, Tomader Mazri, "Vers des Systèmes de Systèmes Robustes", Incertitudes et Fiabilité des Systèmes Multiphysiques, DOI: 10.21494/ISTE.OP.2017.0187, Vol. 17, No. 2, ISTE OpenScience, UK, 2017.
77. Y. XU, M. Sahnoun, F. Ben Abdelaziz, D. Baudry, A. Louis, (2017) "Multi-objective Flexible Job Shop Scheduling Problem: Simulation Approach", MOPGP 2017, 30 & 31 October 2017 Metz.
78. V.S. Barbu, N. Vergne (2017) "Reliability and survival analysis for drifting Markov models: modelling and estimation", Mathematical Methods in Reliability, Grenoble, juillet 2017
79. V.S. Barbu, A. Karagrigoriou, V. Preda (2017) "Entropy, divergence rates and weighted divergence rates for Markov chains", La 20ème Conférence de la Société de Probabilités et Statistique de Roumanie, Brasov, Roumanie, avril 2017
80. V.S. Barbu, A. Karagrigoriou, A. Makrides (2017) "Statistical inference for a general class of distributions with time-varying parameters", La 20ème Conférence de la Société de Probabilités et Statistique de Roumanie, Brasov, Roumanie, avril 2017
81. V.S. Barbu, A. Karagrigoriou, A. Makrides (2017) "Semi-Markov processes for multi-state systems: modelling, estimation and reliability/survival analysis", La 20ème Conférence de la Société de Probabilités et Statistique de Roumanie, Brasov, Roumanie, avril 2017
82. O. Arkoun, J.-Y. Brua and S. M. Pergamenchtchikov (2017) "Sequential Model Selection Methods for Nonparametric Autoregression". *The Sixth International Workshop in Sequential Methodologies (IWSM 2017)*, University of Rouen Normandy, France, June 20 -- 23, 2017.
83. Galtchouk, L.I. and S. M. Pergamenchtchikov (2017) "Sequential Estimation based on Discrete Data in Ergodic Nonparametric Diffusions via Model Selection", *The Sixth International Workshop in Sequential Methodologies (IWSM 2017)*, University of Rouen Normandy, France, June 20 -- 23, 2017.
84. O. Arkoun and S. M. Pergamenchtchikov (2017) "Sequential robust estimation for nonparametric autoregressive models". *The Sixth International Workshop in Sequential Methodologies (IWSM 2017)*, University of Rouen Normandy, France, June 20 -- 23, 2017.
85. Girardin, V., Konev, V.V. and S. M. Pergamenchtchikov (2017) "CUSUM Quickest Detection Rule for Markovian Time Series: KULLBACK-LEIBLER Approach". *The*

*Sixth International Workshop in Sequential Methodologies (IWSM 2017), University of Rouen Normandy, France, June 20 -- 23, 2017.*

86. Barbu, V. S., Beltaif, S. Pergamenshchikov, S. M. (2017) "Model selection for a semi - Markov continuous time regression observed in the discrete time moments". *International Workshop "Statistical methods of transmission, reception and processing of information"*, National Research University "Moscow Power Institute" and National Research Tomsk State University Tomsk, Russia, July 3 -- 5, 2017.
87. Barbu, V. S., Beltaif, S. Pergamenshchikov, S. M (2017) "Robust adaptive efficient estimation for a semi - Markov continuous time regression from discrete data". *International Workshop "Asymptotic Statistics of Stochastic Processes and Applications" (SAPS - XI)*, Peterhof, Russia, July 17 -- 21, 2017.
88. Bertelle C., Sajous P. (2017) Développer la complexité des analyses territoriales par une approche projet – FEDER XTerM en Normandie, Terri'2017 – Territoire intelligent : un modèle si smart ?, 24 mars 2017, Université de Cergy-Pontoise
89. Sajous P. (2017) Tensions générées par l'électromobilité. Etude à partir du cas haut-normand, Terri'2017 – Territoire intelligent : un modèle si smart ?, 24 mars 2017, Université de Cergy-Pontoise
90. Sajous P. (2017) Système d'acteurs autour de l'électromobilité sur l'espace public : le cas Haut-Normand, 1er Workshop Projet MOUVE, 29 juin 2017, Lille
91. Sajous P. (2017) Quels modes de déplacements (ré)inventer pour le périurbain peu dense ?, 2° Atelier Péri/métropolitain, 23 juin 2017, Libourne
92. Cantin G. Aziz-Alaoui M.A, Verdière N., Lanza V. (2017) Multiple Hopf Bifurcations in Coupled Networks of Planar Systems, in proceedings of WANCSA 2017, Le Havre, July 4-5, 2017.
93. Maama M. (2017) Mathematical Modeling and Numerical Simulation of Hodgkin-Huxley Neurons for Complex Network in V1 Cortex, in proceedings of WANCSA 2017, Le Havre, July 4-5, 2017.
94. Charrier R. (2017) A Cascading Failure Model to Study Stress propagation in Crowds, in proceedings of WANCSA 2017, Le Havre, July 4-5, 2017.
95. Benhellal N., Duvallet C., Bertelle C. (2017) Using Blockchain to Secure Transactions for Logistics Networks in Smart Ports, in proceedings of WANCSA 2017, Le Havre, July 4-5, 2017.
96. Verdiere N., Zhu S., Denis-Vidal L. (2017) Parameter Estimation in a Coupled Model Describing the Transmission of the Chikungunya to the Human Population, in proceedings of WANCSA 2017, Le Havre, July 4-5, 2017.
97. Caputo J.-G., Hamdi A., Knippel A. (2017) Identification of a Source on a Network, in proceedings of WANCSA 2017, Le Havre, July 4-5, 2017.
98. Caputo J.-G., Khames I., Knippel A., Panayotaros P. (2017) Periodic Orbits in Nonlinear Wave Equations on Networks, in proceedings of WANCSA 2017, Le Havre, July 4-5, 2017.
99. Caputo J.-G., Knippel A. (2017) Exploring Soft Graphs, in proceedings of WANCSA 2017, Le Havre, July 4-5, 2017.
100. Caputo J.-G., Knippel A., Mouatamide F. (2017) Analysis of an Epidemic Model on a Network, in proceedings of WANCSA 2017, Le Havre, July 4-5, 2017.
101. G. Cantin, N. Verdière, V. Lanza, M.A. Aziz-Alaoui, D. Provitolo, E. Dubos-Paillard, R. Charrier, C. Bertelle (2017) Control of panic behavior in a non

identical network coupled with a geographical model, in Physcon'2017, Florence, Italie july 2017

102. T Démare, S Balev, C Bertelle, A Dutot, D Fournier, E Sanlaville (2017) Effects of Port Attractiveness on Logistic Flows in a Competition Context, in proceedings of PaSPort'2017 International Conference
103. Maria ZEMZAMI, Norelislam ELHAMI, Mhamed ITMI and Nabil HMINA (2017) «A Comparative Study of Two Parallel Approaches Based on the PSO Algorithm». (Publié sous la référence: Title of the book: Smart Systems & Wireless Technologies Reviews, ISBN: 978-9954-38-152-1).
104. Maria ZEMZAMI, Abdelkhalak ELHAMI, Abderahman MAKHLOUFI, Norelislam ELHAMI, Mhamed ITMI and Nabil HMINA (2017) «Applying a new parallelized version of PSO algorithm for electrical power transmission». IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Online ISSN: 1757-899X; Print ISSN: 1757-8981) indexée: EI Compendex, Scopus, Thomson Reuters (WoS), Inspec, et al.
105. Maria ZEMZAMI, Norelislam ELHAMI, Mhamed ITMI and Nabil HMINA (2017) «Modified Particle Swarm Optimization Algorithm Based on a Dynamic Search Space». International Congress on Advanced Technologies (IEEE-ICAT'17). 12-14 Avril 2017 Safi, Maroc.
106. Maria ZEMZAMI, Abdelkhalak ELHAMI, Abderahman MAKHLOUFI, Norelislam ELHAMI, Mhamed ITMI and Nabil HMINA (2017) « Applying a new parallelized version of PSO algorithm for electrical power transmission». International Conference on Materials Engineering and Nanotechnology (ICMEN'17). 12-14 Mai 2017 Kuala Lumpur, Malaysia.
107. Maria ZEMZAMI, Norelislam ELHAMI, Mhamed ITMI and Nabil HMINA (2017) « A New Parallel Particle Swarm Optimization algorithm With Dynamic Neighborhoods ». Innovative Engineering & Technology Conference (IEEE-IETC'17). 07 Octobre 2017 Kenitra, Maroc.
108. Maria ZEMZAMI, Norelislam ELHAMI, Mhamed ITMI and Nabil HMINA (2017) «A Comparative Study of Two Parallel Approaches Based on the PSO Algorithm». International Conference on Wireless Technologies embedded and intelligent Systems (IEEE-WITS'17). 19-20 Avril 2017 Fes, Maroc.
109. Lucchini F., Elissalde B., Gillet O., Baudry J., Grassot L., *Social networks, events and cities*. Proceedings of The European Colloquium on Theoretical and Quantitative Geography, 7-11 September 2017, York, (UK) [Communication Orale]
110. Lucchini F., Gillet O., Elissalde B., Grassot L., Baudry J., 2017 : Des graphes dynamiques pour décrypter la mobilité des usagers de Twitter, Spatial Analysis and GEOMatics, 6 au 9 Novembre 2017, Rouen Normandie University, Rouen (FR) [Communication Orale]
111. Guignard B., Rouard A., Chollet D., Seifert L. (2017). Upper-to-lower limb coordination in front crawl swimming: impacts of task and environmental constraints. *International Congress of Complex Systems in Sports*. Catalonia National Institute of Physical Education: Barcelona, Spain
112. Kamenskii, M., Pergamenshchikov, S. and Quincampoix, M. (2017) Second-order differential equations with random perturbations and small parameters. - Proceedings of the Royal Society of Edinburgh Section A: Mathematics, 2017, v.

147, 4, August, pp. 763 -- 779.

113. Pchelintsev E. A, Pchelintsev V. A and Pergamenshchikov, S. M. (2017) Improved estimation of a function in continuous regression with semimartingale noise.-In : "Proceedings of International Scientific Conference "Robust Statistics and Financial Mathematics - 2017 (Tomsk, 3 - 5 July, 2017)" (Pchelintsev, E. and Pergamenshchikov, S. (Eds)), National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia, 2017, p. 24 - 29. <https://elibrary.ru/item.asp?id=30130466>
114. I. Khames, J.G. Caputo et A. Knippel "Periodic Orbits in Nonlinear Wave Equations on Networks « présentation à la Conference on complex systems, Cancun, Mexico, Septembre 2017.
115. Verny, J., 2017. La transformation digitale dans la supply chain, *conférence Blockchain – Agora*, Paris
116. Verny, J., 2017. Pour une stratégie logistique en faveur de l'amélioration de la performance du service client, *conférence OIV*, Dijon
117. Verny, J., 2017. L'innovation en transport et logistique, *conférence FRET+*, Paris
118. Verny, J., 2017. La blockchain au service d'une filière industrielle, *conférence nationale sur la blockchain – Supply Chain Event-ASLOG*, Paris
119. Verny, J., 2017. La blockchain comme outil de performance économique d'un territoire, *Port du Futur*, Paris
120. Verny, J., 2017. Le développement d'une filière numérique en logistique, *CCI, Sfax*
121. Verny, J., 2017. L'innovation et le numérique en logistique et supply chain, *Conseil d'orientation et de suivi France Logistique 2025*, Paris
122. Verny, J., 2017. Le ferroviaire Asie-Europe : une nouvelle route commerciale internationale ?, *Rotary Paris Ouest*, Paris
123. Verny, J., 2017. Evolution des métiers en logistique et supply chain, *CESAR*, Mont-Saint-Aignan

## 2016

124. Verny, J., 2016. Blockchain : les nouvelles opportunités logistiques et supply chain, *Nov@log*, Saint-Etienne-du-Rouvray
125. Verny, J., 2016. Blockchain et supply chain, *1<sup>e</sup> conférence nationale sur la blockchain – Supply Chain Event*, Paris
126. T Démare, C Bertelle, A Dutot, L Lévêque (2016) A systemic approach with agent-based model and dynamic graphs to understand the organization of a logistic system, in book Short Sea Shipping (Serry A. and Leveque L. eds), pp 221-223
127. Anas Malas, Mohamad EL Falou, Salah El Falou, Mhamed Itmi and Alain Cardon (2016) Multi-agent approach for On-Demand Transport problem in a city, The Third International Conference on Electrical, Electronics, Computer Engineering and their Applications EECEA'16, April 21-23, Beirut, Lebanon.
128. Anas Malas, Mohamad EL Falou, Salah El Falou, Mhamed Itmi and Alain Cardon (2016) Solving On-Demand Transport Problem through Negotiation, SummerSim SCSC'16. July 24-27, Montreal, Quebec, Canada.
129. Verny, J. (2016) HAROPA 4 ans après..., *Grand Plateau d'ELAN*, Rouen

130. Verny, J. (2016) Transport ferroviaire entre l'Asie et l'Europe, *Journée du réseau Fret du CEREMA*, La Défense
131. S. ZEROUALI, M. SAHNOUN, D. TRIMOULET, F. DUVAL, D. BAUDRY, A. LOUIS (2016) « Robots Collaboratifs Pour L'usine Du FuTur - Intelligence Embarquée », conference 2016 prague, République tchèque.
132. V. S. Barbu, A. Karagrigoriou, A. Makrides (2016) "On Semi-Markov Modelling and Inference for Multi-State Systems", Symposium on Stochastic Models in Reliability Engineering, Life Science and Operations Management, Beer Sheva, Israel (article IEEE), février 2016
133. V. S. Barbu, A. Karagrigoriou, A. Makrides (2016) "On Semi-Markov Modelling and Inference for Multi-State Systems", Symposium on Stochastic Models in Reliability Engineering, Life Science and Operations Management, Beer Sheva, Israel (article IEEE), février 2016
134. S. M. Pergamenchtchikov (2016) "Sequential methods for detection problems in stochastic systems". - The International Conference "Statistical Methods for the synthesis, analysis and simulation of signal processing algorithms and image fields", Russian National Research University "Moscow Power Institute", Moscou, Russia, June 28, 2016.
135. Harik El Houssein Chouaib, Guérin François, Guinand Frédéric, Brethé Jean-François, and Pelvillain Hervé (2016) Towards An Autonomous Warehouse Inventory Scheme. In IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (IEEE SSCI 2016), Athens, Greece. 2016.
136. Dépalettisation à l'aide d'un torse humanoïde équipé de bras manipulateurs, Khairidine Benali, Jean-François Brethé, François Guérin, Marc Gorka (2016) Poster, Journées Jeunes chercheurs Robotiques/Journées nationales robotique, Paris, novembre 2016
137. Labib Sadek Terrissa, Radhia Bouziane, Soheyb Ayad, Jean-François Brethé (2016) ROS-Based Approach for robot as a service in cloud computing, The 2nd Conference on Computing Systems and Applications, December 13-14, 2016, Algiers, Algeria., At Ecole Polytechnique Militaire, Algiers, Algeria
138. Labib Sadek Terrissa, Radhia Bouziane, Soheyb Ayad, Jean-François Brethé (2016) Web services based solution for robot as a service in the cloud, Conference: International Conference on Cloud Robotics (ICCR'2016), At Saint Quentin - France
139. S. Zerouali, M. Sahnoun, D. Trimoulet, F. Duval, D. Baudry, A. Louis (2016) « Robots Collaboratifs Pour L'usine Du FuTur - Intelligence Embarquée », Confere 2016 prague, République tchèque.
140. Yafia R., Aziz-Alaoui M, Elyacoubi S. (2016), Modeling and Dynamics of Predator Prey Systems on a Circular Domain. In Book: Springer Proceedings in Mathematics & Statistics, Applied Analysis in Biological and Physical Sciences, J.Cushing, M.Saleem, etal (Eds.), Volume 186 pp: 3-25, 2016.
141. Imene Khames, Jean Guy Caputo, Arnaud Knippel (2016) Nonlinear resonances for discrete cycles and chains, Conference on Complex Systems CSS2016, Amsterdam.
142. M. El-Zaher, D. Trimoulet, E. Auffret, S. Zerouali, M. Sahnoun, D. Baudry, C. Viazzi. (2016) « Modelisation Uml Des Agents Dans Un Environnement De Simulation 3D » conference 2016 prague, République tchèque.

143. T. David, M. El Zaher, I. Issury, M. Shanoun, C. Viazzi (2016) "Self Organized Robotic Manufacturing System". conference 2016 prague, République tchèque.
144. V.S. Barbu (2016) "Reliability for semi-Markov systems: modelling and estimation", La 24ème conférence de la Société Roumaine de Mathématiques Appliquées et Industrielles, Craiova, Roumanie, septembre 2016
145. S. Beltaief (2016) "Robust adaptive efficient estimation for a semi-Markov nonparametric regression model", exposé lors du groupe de travail en statistiques du LMRS (visioconférence avec l'université de Tomsk), juin 2016
146. V.S. Barbu, S. Beltaief, S. M. Pergamenshchikov (2016)"Robust estimation for a semi-Markov nonparametric regression model", La 19ème conférence de la Société de Probabilités et Statistique de Roumanie, Bucuresti, Roumanie, mai 2016
147. V.S. Barbu, S. Beltaief, S. M. Pergamenshchikov (2016) "Robust adaptive efficient estimation for a semi-Markov nonparametric regression model", International Conference of the Euro-Maghreb Laboratory of Mathematics and their Interactions LEM2I-2016, avril-mai 2016, Hammamet, Tunisie
148. S. Beltaief (2016) "Non-parametric estimation in a renewal regression model : Oracle Inequalities", exposé à l'atelier de doctorants du LMRS, février 2016
149. S. M. Pergamenshchikov (2016) "Stochastic differential equations of second order with a small parameter", - The 10th International Bachelor Colloquium "Mathematical Finance and Stochastic Calculus", Métabief, France, janvier 2016
150. S. Beltaief (2016) "Algorithmes optimaux de traitement de données pour des systèmes complexes d'information et télécommunication dans un environnement incertain" (poster présenté oralement), Journée du GRR LMN, Mont Saint Aignan, janvier 2016
151. S. M. Pergamenchtchikov (2016) "Improved robust model selection for a conditionally Gaussian regression models in continuous time". - The International Conference "Statistical Methods for the synthesis, analysis and simulation of signal processing algorithms and image fields", Russian National Research University "Moscow Power Institute", Moscou, Russia, June 28, 2016.
152. J.G. Caputo et A. Knippel, "Classification des graphes lambda-mous minimaux." 17`eme Conference ROADEF
153. Z. Ales et A. Knippel, "Une formulation arte-reprsentant pour le problme de K-partitionnement ", 17 ème Conference ROADEF
154. J.G. Caputo, I. Khames et A. Knippel (2016) "Mode coupling in a nonlinear network", 2016 Conference on complex systems, Amsterdam
155. B. Elissalde, F Lucchini (2016) "*Révolution numérique et interactions socio-spatiales*" Conférence au Festival International de Géographie (30 septembre au 2 octobre 2016) : le 1er octobre 2016 à Saint-Dié des Vosges.
156. Anas Malas, Mohamad EL Falou, Salah El Falou, Mhamed Itmi and Alain Cardon (2016) A massive multi-agent approach for On-Demand Transport problem, ICCES'16. July 23-27 Barcelona, Spain, 2016.
157. Maria ZEMZAMI, Mhamed ITMI, Nabil HMINA, and Norelislam ELHAMI (2016) « A New Parallel Approach For The Exploitation Of The Search Space Based on PSO Algorithm ». International Colloquium on Information Science and Technology (IEEE-CIST'16). Oct. 24-26, Tangier, Morocco.

158. Anas Malas, Mohamad EL Falou, Salah El Falou, Mhamed Itmi and Alain Cardon (2016) Agents Negotiating to Meet the On-Demand Transport Problem, 11th International Conference on MOdeling, Optimization and SIMlation MOSIM'16. August 21-24, Montreal, Quebec, Canada.
159. Maria ZEMZAMI, Mhamed ITMI, Nabil HMINA, et Norelislam ELHAMI (2016) Parallélisation de la Méthode PSO: découpage de l'espace et traitement par lot des particules. International Workshop on New Services and Networks WNSN'16. 23-24 Mai 2016 Khouribga, Maroc.
160. Maria ZEMZAMI, Mhamed ITMI, Nabil HMINA, et Norelislam ELHAMI (2016) Parallélisation de la méthode PSO sur des voisinages évolutifs. International Conference on Modeling, Optimization and Simulation (MOSIM'16). 22-24 Aout, Montréal, Canada.
161. B Elissalde, F Lucchini, L Grassot « Données géolocalisées et évènements urbains », Collège International des Sciences du Territoire CIST, 18 novembre 2016, Université de Grenoble (FR) [Communication Orale]
162. F Lucchini, L Grassot, 18 novembre 2016, « Pulsations urbaines et tweets », Collège International des Sciences du Territoire CIST, 18 novembre 2016, Université de Grenoble (FR) [Atelier de manipulations de données sous R]
163. B. Elissalde, F Lucchini, conférence intitulée « *Révolution numérique et interactions socio-spatiales* » le 1er octobre 2016 à Saint-Dié des Vosges Conférence au Festival International de Géographie (30 septembre au 2 octobre 2016).
164. Guignard B., Rouard A., Chollet D., Seifert L. (2016). The effect(s) of fluid flow manipulation on upper limb coordination in swimming. *14<sup>th</sup> European Workshop on Ecological Psychology (EWEP)*. University of Groningen, the Netherlands: Groningen. p. 21.
165. Rochat, N., Hauw, D., & Seifert, L. (2016, février.). How does equipment impact on trail-runners' activity? A situated analysis of trail-runners' experience of running with carrying systems. Communication présentée au Colloque National de la Société Suisse des Sciences du Sport, Berne, CH.
166. Cécile LEGROS, The CISG Advisory Council: a model to improve uniform application of the CMR?, International Conférence 60 years CMR / Erasmus Rotterdam University 6 & 7 October 2016
167. Gaëlle BONJOUR, Marion HIDALGO, Impacts of CMR international database for the uniformization of the CMR interpretation, International Conférence 60 years CMR / Erasmus Rotterdam University 6 & 7 October 2016

## 2015

168. S. M. Pergamenchtchikov (2015) "Model selection for the signal estimation problem", "The joint signal detection and signal parameter estimation on the basis of the observations with noises", International research seminar, National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Voronej, Russia, 30 October, 2015
169. Eloundou, J., Sahnoun, M. H., Louis, A., Baudry, D., & Bensrhair, A. (2015, December). Evaluation of the routing flexibility of a manufacturing system. In Xème Conférence Internationale: Conception et Production Intégrées.

170. Eloundou, J., Sahnoun, M. H., Baudry, D., Bensrhair, A., & Louis, A. (2015, December). Variability of production in flexible manufacturing systems: petri net modelling and simulation. In Xème Conférence Internationale: Conception et Production Intégrées.
171. Yafia Y., Aziz-Alaoui M., Tridane A, Moussaoui A. (2015), Mathematical Analysis of a Delayed Hematopoietic Stem Cell Model with Wazewska–Lasota Functional Production Type. Springer International Publishing Switzerland, Vol. 14, pp: 63-86, the series Nonlinear Systems and Complexity.
172. Harik El Houssein Chouaib, Guérin François, Guinand Frédéric, Brethé Jean-François, and Pelvillain Hervé (2015) Uav-ugv cooperation for objects transportation in an industrial area. In IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), pages 547–552. IEEE, 2015.
173. Harik El Houssein Chouaib, Guérin François, Guinand Frédéric, Brethé Jean-François, Pelvillain Hervé, and Zentout Adel (2015) Vision based target tracking using an unmanned aerial vehicle. In IEEE International Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts (ARSO 2015), page 6, Lyon, France. 2015. URL: <https://hal-insu.archivesouvertes.fr/UNIV-LEHAVRE/hal-01170117v1>.
174. Harik El Houssein Chouaib, Guérin François, Guinand Frédéric, Brethé Jean-François, and Pelvillain Hervé (2015) A decentralized interactive architecture for aerial and ground mobile robots cooperation. In IEEE International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR), pages 37–43, Singapore. 2015.
175. S. M. Pergamenchtchikov (2015) "Minimax quickest changepoint detection for dependent data", The Fifth International Workshop in Sequential Methodologies, June 22 - 24, 2015, University of Columbia, New York, USA
176. V. S. Barbu, A. P. Ulmeanu (2015) Failure Analysis with Uncertainties in Electrical Power Systems, Applied Stochastic Models and Data Analysis (ASMDA), Piraeus, Grèce, juin-juillet 2015.
177. Lucchini F, Elissalde B, Grassot L, Baudry J (2015) Mobile phone use, events and emerging phenomena. Proceedings ECTQG Colloquium, Bari.
178. Guignard B., Ayad O., Rouard A., Chollet D., Seifert L. (2015). Rhythms of upper-lower limbs in front crawl swimming in relation to environment and task constraints: An exploratory study. *16<sup>th</sup> International Congress of ACAPS*. University of Nantes, France: Nantes. p. 672-673.
179. Rochat N., Seifert L., Hauw D. (2015). Analysis of the activity of Raidlight community trail runners based on their blog posts and forums discussions contents. *14<sup>th</sup> European Congress of Sport Psychology*, 14-19 Juillet, Berne, Suisse.

### 8.3 Ouvrages, brevets, coordination de numéros spéciaux de revues scientifiques et autres publications

---

#### 2019

1. M. Zemzami (2019) « Variations sur PSO : approches parallèles, jeux de voisinages et applications », thèse de Normandie Université, INSA de Rouen.
2. I. Ed-Daoui (2019) : « Towards systems of systems structural resilience assessment », thèse de Normandie Université, INSA de Rouen.

3. Fourneaux, S., Verny, J. & Daussy, C., 2019. (accepted). Le luxe et la blockchain, in Rigaud, E. & Pini, F.M. (dir.), *Management du luxe : opportunités et challenge de demain*, Vuibert, Paris, 161-187
4. Sajous P. et Bertelle C., Systèmes complexes, intelligence territoriale et mobilité Actes du colloque XTERM 2019
5. Pchelintsev E.A. and Pergamenchtchikov, S.M. Proceedings of International Scientific Conference "Robust Statistics and Financial Mathematics - 2019 (Tomsk, 4 - 6 July, 2019)" Publishing House of National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia, 2019.
6. Chernoyarov, O.V., Pergamenchtchikov, S.M., Salnikova, A.V., Glushkov, A.N., Litvinenko, V.P. , Litvinenko, Y.V. Digital demodulator of binary signals with relative second-order phase shift keying// Invention patent (brevet) 2690959, Russia, MPK H04L 27/22 (application No. 2018141564, submitted 11/27/2018, published June 7, 2019, Bull. No. 16)
7. Chernoyarov, O.V., Pergamenchtchikov, S.M., Salnikova, A.V., Glushkov, A.N., Litvinenko, V.P. , Litvinenko, Y.V. Digital random signal simulator. - Application № 2019129766, soumis en Agence des brevets de Russie "Rospatent" (Ministère du développement économique de la Fédération de Russie), 23.09.2019.

## **2018**

8. J.G. Caputo, A. Hamdi et A. Knippel (2018) "Inverse source problem in a forced wave graph", , (rapport interne), Article en révision pour Inverse problems
9. Pchelintsev E.A. and Pergamenchtchikov, S.M. Proceedings of International Scientific Conference "Robust Statistics and Financial Mathematics - 2018 (Tomsk, 9 - 11 July, 2018)" , Publishing House of National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia, 2018  
[\(http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000635300\)](http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000635300).
10. 2. Chernoyarov, O.V., Pergamenchtchikov, S.M., Salnikova, A.V., Matveev, B.V., Litvinenko, V.P. , Litvinenko, Y.V. Digital quadrature device for phase synchronization of a signal demodulator with four-position phase shift keying. - Application № 2018142592, soumis en Agence des brevets de Russie "Rospatent" (Ministère du développement économique de la Fédération de Russie) 04.12.2018.

## **2017**

11. Pchelintsev E.A. and Pergamenchtchikov, S.M. Proceedings of International Scientific Conference "Robust Statistics and Financial Mathematics - 2017" (Tomsk, 3 - 5 July, 2017)", Publishing House of National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia, 2017 (<https://elibrary.ru/item.asp?id=30130466>)
12. S.KADRY, A. EL HAMI (2017) Innovations in E-Systems for Business and Commerce, Apple Academic press, Hard ISBN: 9781771885645 E-Book ISBN: 9781315207353, February 2017 (365 pages).
13. Elissalde B., Lucchini F., guest editors, parution prévue en 2017 (Appel à contributions diffusé début 2016), Coordination de numéro Spécial de la Revue Netcom (référencée par l'UGI) intitulé « Réseaux sociaux et recherche géographique ».

14. S.KADRY, A. EL HAMI (2017) Innovations in E-Systems for Business and Commerce, Apple Academic press, Hard ISBN: 9781771885645 E-Book ISBN: 9781315207353, February 2017 (365 pages).
15. A. Malas (2017) « Contribution à la résolution du transport à la demande fondée sur les systèmes multi-agents », thèse de Normandie Université, INSA de Rouen.

## 2016

16. R. Yafia, M.A. Aziz-Alaoui, S.Elyacoubi (2016), Modeling and Dynamics of Predator Prey Systems on a Circular Domain. In Book: Springer Proceedings in Mathematics & Statistics 186, Applied Analysis in Biological and Physical Sciences, J.Cushing, M.Saleem, etal (Eds.), Volume 186 pp: 3-25, 2016. DOI 10.1007/978-81-322-3640-5\_1
17. Ambrosio B. and Aziz-Alaoui M.A. (2016), Sur les Bassins d'Attraction de Patterns dans des Systèmes de Reaction-Diffusion Oscillants, in Dogbé-Guibé (eds.): Actes du colloque EDP-Normandie,2015, pp: 201-210.
18. Haifa Rabai (2016) Réseau dynamique d'applications chaotiques couplées pour l'étude de la mobilité urbaine, Université Le Havre Normandie, 6 décembre 2016.
19. S.KADRY, A. EL HAMI (2016) E-Systems for the 21st Century: Concept, Developments, and Applications, Volume 1: E-Commerce, E-Decison, E-Government, E-Health, and Social Networks. Apple Academic press, Hard ISBN: 978177188255, E-Book ISBN: 9781771882569 April 2016 (500 pages)
20. S.KADRY, A. EL HAMI (2016) E-Systems for the 21st Century: Concept, Developments, and Applications, Volume 2: E Learning, E-Maintenance, E-Portfolio, E-System, and E-Voting, Apple Academic press, Hard ISBN: 9781771882552, E-Book ISBN: 9781771882569 April 2016 (470 pages)
21. Lambourdiere, E., Verny, J. & Corbin, E. (2016) Logistics Resource Management and Competitive Advantage for Logistics Service Providers: Results from Cross-case Analysis, in Saglietto, L & Cezanne, C. (dir.), *Global Intermediation and New Logistics Service Providers*, IGI Global, Hershey, 163-184
22. Verny, J. (2016) De la marginalité territoriale vers une centralité européenne : le cas de la région Grand Est, in Wackermann, G. (dir.), *La France des marges*, Ellipses, Paris
23. Symposium International. 60ème Anniversaire de la Convention CMR (Convention internationale relative au contrat de transport de marchandises par route, 19 mai 1956) : Application par les Etats parties : quelles divergences ? – Perspectives de droit comparé (Rouen – France, 19 et 20 mai 2016), Uniform Law Review – Volume 21, Issue 4, December 2016, Ed. : Oxford University Press
24. Yafia R., Aziz-Alaoui, M.A. (2016), Modeling and Dynamics of Predator Prey Systems on a Circular Domain. Springer books, to appear, 2016.
25. Ambrosio B. and Aziz-Alaoui M.A. (2016), Sur les Bassins d'Attraction de Patterns dans des Systèmes de Reaction-Diffusion Oscillants, in Dogbé-Guibé (eds.): Actes du colloque EDP-Normandie
26. Cardon A. et Itmi M. (2016) Les systèmes autonomes. ISTE
27. Cardon A. and Itmi M. (2016) New autonomous systems. Wiley
28. S.KADRY, A. EL HAMI (2016) E-Systems for the 21st Century: Concept, Developments, and Applications, Volume 1: E-Commerce, E-Decison, E-

- Government, E-Health, and Social Networks. Apple Academic press, Hard ISBN: 978177188255, E-Book ISBN: 9781771882569 April 2016 (500 pages)
29. S.KADRY, A. EL HAMI (2016) E-Systems for the 21st Century: Concept, Developments, and Applications, Volume 2: E Learning, E-Maintenance, E-Portfolio, E-System, and E-Voting, Apple Academic press, Hard ISBN: 9781771882552, E-Book ISBN: 9781771882569 April 2016 (470 pages)
30. J.G. Caputo, A. Hamdi et A. Knippel (2016) "Inverse source problem in a forced wave graph", , (rapport interne), Article en preparation pour Inverse problems
31. J.-G. Caputo, I. Khames, A. Knippel et P. Panayotaros (2016) "Nonlinear periodic orbits on networks", (rapport interne), Article en preparation pour Phys. Rev. E
32. J.-G. Caputo et A. Knippel (2016) "Classification de graphes  $\lambda$ -mous minimaux", (rapport interne), Article en preparation pour J. discrete Math.
33. Elissalde B., Lucchini F., guest editors, 2016 (Appel à contributions diffusé début 2016), Coordination de numéro Spécial de la Revue Netcom (référencée par l'UGI) intitulé « *Réseaux sociaux et recherche géographique* ».

## **2015**

34. Elissalde B. (2015) Coordination d'un Numéro special, "Temporalités de l'espace géographique". Revue l'Information géographique, vol.79, juin 2015.