

Projet ANR-08-VD-00

MIRO

Programme Villes Durables 2008

A	IDENTIFICATION.....	2
B	RESUME CONSOLIDE PUBLIC	2
B.1	Instructions pour les résumés consolidés publics	Erreur ! Signet non défini.
B.2	Résumé consolidé public en français	2
B.3	Résumé consolidé public en anglais.....	3
C	MEMOIRE SCIENTIFIQUE	4
C.1	Résumé du mémoire	4
C.2	Enjeux et problématique, état de l'art	4
C.3	Approche scientifique et technique.....	6
C.4	Résultats obtenus	8
C.5	Exploitation des résultats	9
C.6	Discussion	10
C.7	Conclusions.....	10
C.8	Références.....	10
D	LISTE DES LIVRABLES.....	11
E	IMPACT DU PROJET	12
E.1	Indicateurs d'impact	12
E.2	Liste des publications et communications.....	13
E.3	Liste des éléments de valorisation.....	17
E.4	Bilan et suivi des personnels recrutés en CDD (hors stagiaires)	19

Ce document est à remplir par le coordinateur en collaboration avec les partenaires du projet. L'ensemble des partenaires doit avoir une copie de la version transmise à l'ANR.

Ce modèle doit être utilisé uniquement pour le compte-rendu de fin de projet.

A IDENTIFICATION

Acronyme du projet	MIRO
Titre du projet	Modélisation Intra-urbaine des Rythmes quotidiens : accroître l'accessibilité à la ville pour maîtriser la mobilité urbaine
Coordinateur du projet (société/organisme)	Arnaud Banos (Géographie-Cités, CNRS/UP 1, UP7)
Période du projet (date de début – date de fin)	01/01/2009 → 01/01/2013
Site web du projet, le cas échéant	http://miro.csregistry.org/tiki-index.php

Rédacteur de ce rapport	
Civilité, prénom, nom	Mr Arnaud Banos
Téléphone	
Adresse électronique	Arnaud.banos@parisgeo.cnrs.fr
Date de rédaction	10 juin 2012

Si différent du rédacteur, indiquer un contact pour le projet	
Civilité, prénom, nom	
Téléphone	
Adresse électronique	

Liste des partenaires présents à la fin du projet (société/organisme et responsable scientifique)	Sonia Chardonnel (PACTE), Christophe Lang (LIFC), Thomas Thévenin (ThéMA)
---	---

B RESUME CONSOLIDE PUBLIC

B.1 RESUME CONSOLIDE PUBLIC EN FRANÇAIS

Modélisation Intra-urbaine des Rythmes quotidiens : accroître l'accessibilité à la ville pour maîtriser la mobilité urbaine

Des trajectoires individuelles à la ville en mouvement

Ce projet permet d'accroître et améliorer nos connaissances sur les mobilités urbaines quotidiennes et la ville en mouvement. Il permet notamment de mieux définir les contours d'une mobilité urbaine durable, conciliant au mieux droit à une mobilité choisie et droit à la ville pour tous. Le prototype de simulateur multi-agents construit permet d'explorer, par simulation informatique, les impacts possibles de politiques urbaines sur l'accessibilité spatio-temporelle des citoyens à la ville et leurs conséquences sur leur mobilité quotidienne. Il permet également d'établir des diagnostics territoriaux (pertes et gains d'accessibilité localisés) et sociaux (populations avantagées et désavantagées par les différentes politiques testées).

Il permet enfin d'explorer les possibles impacts globaux de modifications de comportements individuels, moins centrés sur la maximisation d'une utilité individuelle et prenant d'avantage en compte des enjeux globaux. L'objectif est alors de déterminer à partir de quel « seuil de percolation » sociale ces nouveaux comportements sont susceptibles de produire un effet significatif sur le fonctionnement urbain.

Une plateforme de simulation multi-agents et multi-acteurs

La plateforme de simulation collaborative proposée permet également de réunir différents acteurs autour d'un scénario (dans une version simplifiée du modèle) et de les faire participer activement à différentes simulations, afin de les amener à prendre conscience des conséquences possibles de comportements individuels, mais également de politiques publiques, à la fois sur la ville en mouvement et sur les conditions de vie locales des citoyens. Cette plateforme pose les fondements d'une démarche participative mettant les systèmes multi-agents au service de véritables systèmes multi-acteurs, interactifs et réflexifs.

Le projet MIRO est un projet de recherche fondamentale coordonné par l'ANR. Le projet a commencé en janvier 2009 et a duré 48 mois. Il a bénéficié d'une aide ANR de 345 785 € pour un coût global de l'ordre de 1 484 938 €

B.2 RESUME CONSOLIDE PUBLIC EN ANGLAIS

This project seeks to explore sustainable cities through one of their components, daily mobility. Indeed, if cities can be seen as spatial organisms favoring social interactions, an ever-increasing number of trips are required to achieve this goal. Urban sprawl, functional specialization of urban territories, and a still positive social view of mobility are some of the numerous factors contributing to this trend, which has to be questioned regarding its sustainability.

Indeed, negative externalities will have to be reduced and controlled: urban sprawl, congestion, energetic consumption and production, risks...

Urban daily mobility therefore appears as one of the keys of the future of cities. This project states that: a) spatio-temporal accessibility of citizens to urban territories cannot be reduced to accessibility of places. We need to integrate daily activity programs and spatio-temporal lifelines of individuals living in cities; b) relevant data exist in France (household surveys), which have to be enriched and explored in a renewed perspective; c) individual based models need to be constructed, validated and applied to explore such complexity.

The MIRO agent based prototype constitutes the ground of this project. It allows to: a) integrate complex decision making processes in a forever moving and dynamic urban environment, made of constraints and opportunities; b) create virtual urban environments fed by multiple sources data and managed within improved GIS environments; c) create synthetic populations of agents being as representative as possible of populations under study, from already existing socio-demographic and mobility surveys; d) test fully desegregated spatio-temporal accessibility indicators, able to characterize local contexts lived by people as well as gains and losses implied by planning scenarios; e) run validation protocols able to assess the confidence we have in our agent based models outputs; f) deal with a large number of agents (between 50 000 and 100 000), in order to reach more realistic situations; g) emulate a collaborative simulation platform allowing various actors to interact and explore planning scenarios; h) apply the models developed to two French agglomerations (Dijon and Grenoble), in a comparative perspective.

C MEMOIRE SCIENTIFIQUE

Mémoire scientifique confidentiel : non

C.1 RESUME DU MEMOIRE

Ce projet vise à accroître et améliorer nos connaissances sur les mobilités urbaines quotidiennes et la ville en mouvement. Il permet notamment de mieux définir les contours d'une mobilité urbaine durable, conciliant au mieux droit à une mobilité choisie et droit à la ville pour tous. Le prototype de simulateur multi-agents construit permet d'explorer, par simulation informatique, les impacts possibles de politiques urbaines sur l'accessibilité spatio-temporelle des citoyens à la ville et leurs conséquences sur leur mobilité quotidienne. Il permet également d'établir des diagnostics territoriaux (pertes et gains d'accessibilité localisés) et sociaux (populations avantagées et désavantagées par les différentes politiques testées).

Il permet enfin d'explorer les possibles impacts globaux de modifications de comportements individuels, moins centrés sur la maximisation d'une utilité individuelle et prenant d'avantage en compte des enjeux globaux. L'objectif est alors de déterminer à partir de quel « seuil de percolation » sociale ces nouveaux comportements sont susceptibles de produire un effet significatif sur le fonctionnement urbain.

La plateforme de simulation collaborative proposée permet également de réunir différents acteurs autour d'un scénario (dans une version simplifiée du modèle) et de les faire participer activement à différentes simulations, afin de les amener à prendre conscience des conséquences possibles de comportements individuels, mais également de politiques publiques, à la fois sur la ville en mouvement et sur les conditions de vie locales des citoyens. Cette plateforme pose les fondements d'une démarche participative mettant les systèmes multi-agents au service de véritables systèmes multi-acteurs, interactifs et réflexifs.

C.2 ENJEUX ET PROBLEMATIQUE, ETAT DE L'ART

La ville est souvent interprétée comme une forme d'organisation spatiale qui favorise les interactions fonctionnelles. Pourtant, cette propriété est fragile, comme le soulignait dès 1961 l'urbaniste Jane Jacobs¹ : « lorsque l'on rend la cité plus accessible, l'ensemble des utilisations entrecroisées des différentes fonctions urbaines diminue invariablement ».

Ouvrir l'espace urbain au plus grand nombre reste donc à la fois un enjeu de société et un objectif d'aménagement difficile à atteindre. Bien entendu, depuis les années 1960, le contexte a considérablement évolué en France, même si l'on parle toujours de dépendance automobile. Ainsi, la société a subi de profondes mutations, aussi bien dans son organisation (féminisation des emplois, travail intérimaire, mobilité professionnelle croissante, flexibilité, tiers-temps...) que dans ses mentalités et modes de vie (éclatement des ménages, autonomisation des individus, consumérisme de masse individualisés...) ou son assise spatiale (villes discontinues, hétérogènes, de faible densité et multi-polarisées). Ces

¹ Jane Jacobs, *Déclin et survie des grandes villes américaines*, 1961 pour la première édition, 1991 pour l'édition française, éditions Mardaga, Paris.

évolutions majeures se traduisent inévitablement par une croissance des besoins de mobilité, de plus en plus intenses certes, mais également plus diversifiés, plus évolutifs, plus changeants, bref plus complexes. A tel point qu'au traditionnel « droit au transport » des années 1970, s'est progressivement substitué un « droit aux mobilités »², y compris individuelles, qui est devenu l'une des clés de voûte de la gestion des espaces urbains.

Or, et il s'agit là de l'un des points clés de ce projet de recherche, à se focaliser ainsi sur la mobilité individuelle, on prend le risque de perdre de vue ce point essentiel : trop de mobilité tue l'accessibilité. Autrement dit, le droit à une mobilité choisie est susceptible de réduire considérablement un droit tout aussi fondamental, celui de l'accès à la ville pour tous, par la production d'externalités négatives qui se posent aujourd'hui avec une acuité particulière : étalement urbain, congestion, consommation et production énergétique, risques et nuisances...La question qui se pose est alors : quel modèle urbain permettrait de maintenir un équilibre correct entre externalités positives et négatives de la mobilité, dans un contexte par ailleurs caractérisé par un nombre croissant de coûts : « coûts énergétique et géopolitique lié aux intérêts pétroliers, coûts climatiques reportés sur les décennies à venir et sur les pays les moins à même de faire face aux transformations et aux risques, coûts de santé publique avec une prévalence en forte hausse des maladies respiratoires, coûts économiques de congestion et d'extension des réseaux urbains, coûts sociaux pour les expatriés des troisièmes couronnes appauvris par leur budget transport, ou encore pour les populations soumises aux plus fortes nuisances automobiles »³.

Dans une telle perspective, il est vital de repenser la question de la proximité et de l'accessibilité, afin d'offrir une qualité de vie en tous lieux et de réduire les inégalités locales entre cadres de vie. L'objectif de ce projet était précisément de contribuer à mieux définir les contours de cette notion faussement simple (l'accessibilité) et ses interactions avec le fonctionnement même des organismes urbains, irrigués quasiment en permanence par des nomades urbains toujours plus nombreux et exigeants. Les travaux sur l'accessibilité, très nombreux et variés, se focalisent généralement sur ses composantes sectorielle, structurelle, potentielle et statique :

- ❖ « Sectorielle » : il s'agit souvent de déterminer l'accessibilité d'un ensemble de lieux (lieux de résidence, quartiers, communes, villes, etc.) à un service d'intérêt ;
- ❖ « Structurelle » : l'accessibilité à un ensemble de services est souvent réduite à la somme des accessibilités à chacun de ces services ;
- ❖ « Potentielle » : l'objectif est le plus souvent d'estimer cette accessibilité et non l'usage qui en est fait par les individus concernés ;
- ❖ « Statique » : il s'agit en général d'une accessibilité moyenne, prenant éventuellement en compte l'évolution des conditions de circulations aux différents moments de la journée, mais guère plus.

Cette vision de l'accessibilité repose sur une vision réductrice et segmentée du fonctionnement des systèmes urbains et des comportements des individus qui les peuplent, notamment en terme de mobilité quotidienne. Les enjeux actuels, notamment dans une perspective de développement urbain durable, implique au contraire un véritable

² Ascher F., 1998 : La République contre la ville : essai sur l'avenir de la France urbaine, Editions de l'Aube, Paris, 201 p.

³ Emelianoff C., 1999 : La ville durable, un modèle émergent, Géoscopie du réseau européen des villes durables, Thèse de géographie, Université d'Orléans.

changement de paradigme : passer d'une représentation traditionnelle du comportement d'un individu moyen maximisant l'utilité d'un déplacement considéré isolément à celle d'individus différenciés, réalisant un certain nombre d'activités localisées, en une séquence plus ou moins complexe de déplacements au cours d'une journée, et ce en fonction d'un faisceau de contraintes et d'obstacles modulant leurs possibilités d'action.

Dans cette perspective, un certain nombre de priorités ont été identifiées :

- ❖ traiter le déplacement comme une demande dérivée de la demande pour d'autres activités, indépendantes de la mobilité ;
- ❖ se concentrer sur des séquences, des enchaînements de trajets et non plus sur des déplacements simples et segmentés ;
- ❖ retenir le ménage comme unité de base des processus de décision, le comportement de mobilité d'un individu dans un ménage dépendant en partie au moins des comportements de mobilité des autres membres du ménage ;
- ❖ identifier les contraintes spatiales, temporelles et sociales à même d'influer sur les processus décisionnels à l'oeuvre ;
- ❖ comparer les opportunités de déplacement offertes par l'environnement urbain avec l'exploitation de ces opportunités qui en est faite par ses habitants ;
- ❖ évaluer le niveau d'interdépendance d'événements séparés dans l'espace (topologie) et dans le temps (biographie) ;
- ❖ analyser les activités et les déplacements de manière fondamentalement dynamique.

L'accessibilité spatio-temporelle prend alors une dimension renouvelée, plus fonctionnelle et dynamique : une ressource est accessible pour un individu donné si elle peut s'insérer dans son programme d'activités quotidien. Par extension, les inégalités d'accès à la ville et à ses ressources doivent à la fois être appréciées par l'analyse des structures et des dynamiques spatiales relevées sur les temps longs du territoire, et par l'étude du fonctionnement des espaces au regard des pratiques des individus sur les temps courts du quotidien.

C.3 APPROCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

Si les cadres théoriques permettant d'appréhender l'accessibilité spatio-temporelle des individus existent déjà depuis longtemps, force est de constater que les verrous méthodologiques pour la mise en œuvre de ce concept dans le cadre opérationnel d'une application réelle sont encore d'actualité. Il s'agit notamment de :

- ❖ construire une information finement datée et géo-localisée à l'échelle de l'individu pour connaître la diversité des programmes d'activités potentiels dans un territoire donné ;
- ❖ construire et mettre à jour une base de données géo-référencées décrivant les ressources (offre transport, services, etc.) disponibles sur le territoire (cette disponibilité variant en fonction des heures et des jours) ;
- ❖ et enfin, être capable de simuler dans cet environnement ainsi décrit des scénarios permettant d'évaluer des niveaux d'accessibilité individuelle en fonction de décisions d'aménagement relevant de l'action collective.

Les travaux pionniers de la « time geography », remis au goût du jour grâce aux progrès réalisés dans le domaine de la géomatique et de l'analyse spatiale, offrent un cadre

conceptuel particulièrement pertinent à notre sens, malheureusement limité jusqu'ici par les faibles capacités dynamiques des Systèmes d'Information Géographique, outils très peu adaptés à la prise en compte des interactions, notamment locales. Aussi, nous nous sommes tournés vers la simulation informatique individus-centrée, qui continue à ouvrir des perspectives prometteuses en la matière.

Cette approche permet en effet de mieux comprendre les stratégies de déplacement des « nomades urbains » dans un environnement urbain mouvant, caractérisé à la fois par un ensemble de contraintes et d'opportunités. En créant des mondes artificiels, informatiques, peuplés d'agents autonomes agissant au sein de réseaux d'interaction à géométrie variable, le chercheur en SHS a ainsi les moyens aujourd'hui de se doter de plateformes d'expérimentation d'un genre nouveau, lui permettant de reproduire *in silico* des situations difficiles à observer *in situ*, afin de mieux les étudier. La constitution de véritables laboratoires virtuels permet même d'introduire une composante expérimentale novatrice dans l'étude des phénomènes sociaux, puisque ce ne sont plus seulement les résultats de la simulation qui deviennent objets d'attention, mais également les processus souvent complexes par lesquels ces résultats ont été obtenus. L'objectif devient alors de reconstruire, par simulation, les processus susceptibles de générer les structures socio-spatiales observées, et de raisonner ainsi sur la base de scénarios comparatifs, dans une démarche prospective orientée y compris vers l'aide à la décision.

Une telle approche se justifie de la manière suivante : notre capacité à anticiper le comportement d'un système complexe est fondamentalement liée à notre capacité à le penser, le formaliser et le simuler. Selon l'acception la plus courante aujourd'hui, un système complexe est constitué d'un grand nombre d'éléments en interaction non linéaires, situés dans un environnement. Ces éléments (ou entités) actifs, dénommés agents dans la terminologie informatique usuelle, agissent dans et sur cet environnement, qui les influence en retour. Un tel système ne bénéficie pas, de plus, d'un mode de contrôle global, centralisé. Le pouvoir d'action des agents est réduit à une dimension très locale, et certaines structures globales observées sont le fait de processus d'auto-organisation. Dans une telle perspective, les multiples interactions, qui plus est localisées, entre agents peuvent conduire à l'apparition de propriétés à un autre niveau d'observation ou d'agrégation, intermédiaire ou global, non déductibles à partir des simples propriétés des agents. Ces propriétés sont dites émergentes et leur identification constitue l'un des principaux enjeux des théories de la complexité.

Penser la ville et de manière plus générale les systèmes urbains à travers ce prisme théorique implique une évolution significative de nos façons de penser et de formaliser ces objets géographiques classiques.

Dans cette perspective, la démarche peut être qualifiée à la fois de :

- ❖ ascendante (bottom-up), puisqu'elle vise, à partir de la spécification de comportements individuels, à explorer l'émergence de propriétés (structures) collectives ou globale ;
- ❖ centrée sur les individus, au sens de l'individualisme méthodologique, mais également centrée sur les lieux, dans une perspective plus holistique ;
- ❖ générative, dans la mesure où elle vise à identifier les micro-spécifications suffisantes pour générer des macro-phénomènes ou macro-structures ;
- ❖ interactionniste, enfin, puisqu'elle considère le territoire comme un système adaptatif complexe auto-organisé, constitué d'un grand nombre d'agents en interaction (réseaux sociaux), situés dans un environnement en évolution permanente.

Ce projet a permis de créer un prototype multi-agents permettant d'évaluer, par simulation, l'influence sur le fonctionnement de l'espace urbain de comportements individuels orientés notamment vers la construction et la réalisation de programmes quotidiens d'activités.

Privilégiant une double approche, individus-centrée et lieux-centrée, de la ville en mouvement, ce prototype permet également de tester les impacts microscopiques et macroscopiques de scénarios d'aménagement urbain imposant de nouvelles contraintes et opportunités aux agents. Au cœur de MIRO réside en effet l'idée que l'environnement urbain et les autres agents offrent à chaque agent des opportunités pour la réalisation de son programme d'activités quotidien, mais lui imposent également des contraintes. Cette approche offre un avantage réel du point de vue de la simulation et notamment de la construction de scénarios : la localisation, la nature, la fréquence et les horaires d'ouverture des services ou des transports urbains constituent ainsi autant de leviers d'action dont il devient possible de tester - par simulation - les effets sur les comportements individuels et sur la dynamique collective.

On notera enfin que l'un des points forts de MIRO réside dans son ancrage empirique : les environnements urbains sont ainsi constitués à partir de données SIG, tandis que les populations d'agents sont créées à partir de données d'enquêtes socio-démographiques et de mobilités.

C.4 RESULTATS OBTENUS

En replaçant les mobilités urbaines quotidiennes au cœur du débat sur la ville durable, ce projet a permis questionner un certain nombre de pré-supposés actuels, en les ré-interprétant du point de vue des systèmes complexes. En premier lieu, l'accessibilité spatio-temporelle réelle des citoyens aux territoires urbains ne peut être obtenue simplement en travaillant sur l'accessibilité des lieux, et implique de reconstruire les programmes d'activités et les trajectoires spatio-temporelles des individus. Des données fiables existent (enquêtes ménages-déplacements), qu'il s'agit d'exploiter et de valoriser dans une perspective renouvelée. Toutefois, compte tenu des interactions en jeu et de la forte dépendance des comportements individuels aux situations localement rencontrées, une approche fondée sur la simulation individus-centrée constitue une alternative privilégiée et aujourd'hui technologiquement viable. Une telle approche permet d'explorer aussi bien l'influence des comportements individuels sur le fonctionnement global de la ville que les possibles modifications comportementales induites par des modifications macroscopiques.

Le prototype MIRO, développé permet aujourd'hui :

- ❖ d'intégrer les mécanismes complexes d'arbitrage et de choix mobilisés lors du processus de prise de décision, dans un environnement riche, complexe et mouvant porteur d'opportunités mais également de contraintes ;
- ❖ de créer des environnements urbains virtuels aussi réalistes que possible, alimentés par des données multi-sources gérées par système d'information géographique et détaillant autant que faire se peut l'offre de service (publique comme privée) et de transport (multimodale) urbain, dans ses composantes spatiales et temporelles ;
- ❖ de créer des populations d'agents synthétiques aussi représentatives que possible des populations étudiées, en combinant des données d'enquêtes socio-démographiques et de mobilité ;

- ❖ de tester des indicateurs d'accessibilité spatio-temporelle désagrégés permettant de caractériser les situations localement vécues par les acteurs et de préciser, sur cette base, les véritables pertes et gains d'accessibilité engendrés par des projets d'aménagement, ainsi que leurs retombées sur les programmes d'activités des individus ;
- ❖ de mettre en œuvre des protocoles de vérification et de validation permettant, à toutes les étapes de la démarche (conceptualisation, formalisation, modélisation, implémentation, simulation) de déterminer la confiance que l'on peut accorder au modèle construit et aux résultats de simulation produits;
- ❖ de traiter un grand nombre d'agents (plusieurs dizaines de milliers), de manière à se rapprocher de conditions expérimentales réalistes ;
- ❖ de visualiser et d'analyser les résultats des simulations en prenant en compte les échelles spatiale et temporelle de façon interactive ;
- ❖ de poser les bases d'une plateforme de simulation collaborative permettant de réunir différents acteurs autour d'un modèle et de les faire participer au processus de simulation, en leur donnant la capacité d'interagir avec certains paramètres du modèle, dans le cadre de scénarios pré-définis ;

C.5 EXPLOITATION DES RESULTATS

Le prototype MIRO a été développé et appliqué sur les villes de Dijon et Grenoble. L'objectif de ces deux études de cas était de pouvoir :

- décrire pour le modèle un environnement urbain « réaliste » qui ne se réduise pas la diversité des formes et des fonctions d'une ville dans laquelle circulent les individus qui cherchent à réaliser des programmes d'activités plus ou moins complexes.
- créer une population synthétique pour le modèle, stylisée en fonction des données statistiques socio-démographiques et produire une bibliothèque générique de comportements de mobilité calée sur des données d'enquêtes ménages et déplacements de ces deux villes.
- tester des scénarii impliquant un changement dans l'environnement urbain et qui se rapportent aussi à des actions de politiques publiques locales encouragées par des objectifs de développement durable.

La description de l'environnement urbain de Dijon et Grenoble s'est traduite par la constitution d'une base de données géoréférencées développées sous SIG dans laquelle les fonctions suivantes sont décrites :

- Réseau de transport routier et transport en commun auquel sont affectés les règles (vitesse, sens) et les horaires de circulation,
- Bâti décrit par sa forme et ses fonctions ; les fonctions sont précisées de manière détaillée car elles sont considérées comme l'ensemble des ressources urbaines auxquelles les individus peuvent accéder pour réaliser leurs programmes d'activités. Une typologie des fonctions est donc implémentée dans la base de données (typologie fine pour les équipements et services publics, typologie détaillée pour les commerces et industries – code APE). Grâce à une enquête téléphonique, cette base de données a été enrichie pour ajouter les horaires

d'ouverture et de fermeture des bâtiments qui abritent les différents services, commerces et entreprises des deux villes.

L'application du prototype MIRO sur les deux sites permettra *in fine* de vérifier la reproductibilité du protocole et de tester les capacités de calcul sur deux agglomérations de tailles différentes.

C.6 DISCUSSION

Discussion sur le degré de réalisation des objectifs initiaux, les verrous restant à franchir, les ruptures, les élargissements possibles, les perspectives ouvertes par le projet, l'impact scientifique, industriel ou sociétal des résultats.

Du point de vue des sciences informatiques, les objectifs initiaux visaient à proposer des outils permettant de modéliser le système à simuler et d'effectuer des vérifications formelles sur la construction des agents avant le passage à la simulation. Nous avons pour but aussi de proposer des directives de distribution à insérer dans le modèle afin d'anticiper la future répartition de charge nécessaire lors des simulations. Nous avons, dans la pratique, élaboré un outil de modélisation agent sous BeoModeler. Celui-ci permet la modélisation des systèmes multi-agents géographiques. Notre outil permet aussi d'ajouter des annotations. Celles-ci sont des propriétés à vérifier avant simulation. Cette étape passée, nous avons développé des routines permettant la génération de code GAML à partir du modèle. Enfin, le simulateur GAMA utilise ce code pour la simulation de la ville à proprement parler.

C.7 CONCLUSIONS

Ce projet permet d'accroître et améliorer nos connaissances sur les mobilités urbaines quotidiennes et la ville en mouvement. Il permet notamment de mieux définir les contours d'une mobilité urbaine durable, conciliant au mieux droit à une mobilité choisie et droit à la ville pour tous. Le prototype de simulateur multi-agents construit permet d'explorer, par simulation informatique, les impacts possibles de politiques urbaines sur l'accessibilité spatio-temporelle des citoyens à la ville et leurs conséquences sur leur mobilité quotidienne. Il permet également d'établir des diagnostics territoriaux (pertes et gains d'accessibilité localisés) et sociaux (populations avantagées et désavantagées par les différentes politiques testées).

Il permet enfin d'explorer les possibles impacts globaux de modifications de comportements individuels, moins centrés sur la maximisation d'une utilité individuelle et prenant d'avantage en compte des enjeux globaux. L'objectif est alors de déterminer à partir de quel « seuil de percolation » sociale ces nouveaux comportements sont susceptibles de produire un effet significatif sur le fonctionnement urbain.

La plateforme de simulation collaborative proposée permet également de réunir différents acteurs autour d'un scénario (dans une version simplifiée du modèle) et de les faire participer activement à différentes simulations, afin de les amener à prendre conscience des conséquences possibles de comportements individuels, mais également de politiques publiques, à la fois sur la ville en mouvement et sur les conditions de vie locales des citoyens. Cette plateforme pose les fondements d'une démarche participative mettant les systèmes multi-agents au service de véritables systèmes multi-acteurs, interactifs et réflexifs.

C.8 REFERENCES

Ascher F., 1998 : La République contre la ville : essai sur l'avenir de la France urbaine, Editions de l'Aube, Paris, 201 p.

Emelianoff C., 1999 : La ville durable, un modèle émergent, Géoscopie du réseau européen des villes durables, Thèse de géographie, Université d'Orléans.

Jane Jacobs, Déclin et survie des grandes villes américaines, 1961 pour la première édition, 1991 pour l'édition française, éditions Mardaga, Paris.

D LISTE DES LIVRABLES

Quand le projet en comporte, reproduire ici le tableau des livrables fourni au début du projet. Mentionner l'ensemble des livrables, y compris les éventuels livrables abandonnés, et ceux non prévus dans la liste initiale.

Date de livraison	N°	Titre	Nature (rapport, logiciel, prototype, données, ...)	Partenaires (souligner le responsable)	Commentaires
Janvier 2011	1.1	Vérification du modèle initial	Rapport	Fabrice Bouquet	
Octobre 2010	2.1	Arbitrages socio-économiques à prendre en compte	Rapport	Pierre-Henri Morand	
Décembre 2010	3.13.2.3.3	Edition des cartes d'accessibilité spatio-temporelle	Rapport	Thomas Thévenin	
Juillet 2010	1.3	Prototype SMArtAccess	Prototype	Arnaud Banos	
juin 2010	3	Protocoles pour la construction d'indicateurs d'accessibilité	Rapport + prototype	Sonia Chardonnel	A alimenté directement le prototype SMArtACCESS-Statique.
février 2010	4	Diffusion des bases de données spatiales	Protocole + données	Thomas Thévenin	Bases de données sur Dijon et Grenoble en cours de constitution.
Juillet 2010	5	Prototype GéoGrapheur	Prototype	Thomas Thévenin	
Juin 2012		Bibliothèque d'emplois du temps	Base de données	Sonia Chardonnel	Bibliothèque « générique » calée sur Dijon et Grenoble

E IMPACT DU PROJET

Ce rapport rassemble des éléments nécessaires au bilan du projet et plus globalement permettant d'apprécier l'impact du programme à différents niveaux.

E.1 INDICATEURS D'IMPACT

Nombre de publications et de communications (à détailler en E.2)

Comptabiliser séparément les actions monopartenaies, impliquant un seul partenaire, et les actions multipartenaires résultant d'un travail en commun.

***Attention** : éviter une inflation artificielle des publications, mentionner uniquement celles qui résultent directement du projet (postérieures à son démarrage, et qui citent le soutien de l'ANR et la référence du projet).*

		Publications multipartenaires	Publications monopartenaies
International	Revue à comité de lecture		
	Ouvrages ou chapitres d'ouvrage	5	
	Communications (conférence)	1	13
France	Revue à comité de lecture		
	Ouvrages ou chapitres d'ouvrage	6	1
	Communications (conférence)	2	2
Actions de diffusion	Articles vulgarisation		
	Conférences vulgarisation		1
	Autres	1 (documentaire scientifique)	

Autres valorisations scientifiques (à détailler en E.3)

Ce tableau dénombre et liste les brevets nationaux et internationaux, licences, et autres éléments de propriété intellectuelle consécutifs au projet, du savoir faire, des retombées diverses en précisant les partenariats éventuels. Voir en particulier celles annoncées dans l'annexe technique).

	Nombre, années et commentaires (valorisations avérées ou probables)
Brevets internationaux obtenus	
Brevet internationaux en cours d'obtention	
Brevets nationaux obtenus	
Brevet nationaux en cours d'obtention	
Licences d'exploitation (obtention / cession)	
Créations d'entreprises ou essaimage	
Nouveaux projets collaboratifs	
Colloques scientifiques	
Autres (préciser)	

E.2 LISTE DES PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS

*Répertorier les publications résultant des travaux effectués dans le cadre du projet. On suivra les catégories du premier tableau de la section **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** en suivant les normes éditoriales habituelles. En ce qui concerne les conférences, on spécifiera les conférences invitées.*

OUVRAGES

BANOS A., THEVENIN T. (Dir), 2011 : Geographic information and urban transport systems, Wiley, London, 248 p.

BANOS A., THEVENIN T. (Dir), 2010 : Systèmes de transport urbain : caractérisation de l'offre et estimation de la demande, Hermès, Paris 240 p.

BANOS A., THEVENIN T. (Dir), 2010 : Mobilités urbaines et risques des transports : approches géographiques, Hermès, Paris 244 p.

ARTICLES, CHAPITRES d'OUVRAGES

2012

BANOS A., SANDERS L., 2012, Vers une cartographie sémantique des modèles urbains : des individus aux systèmes de villes, In HEGRON G., La modélisation de la ville : du modèle au projet urbain, Commissariat général au développement durable, Paris, pp. 50-63

2011

GAUDOU B., MARILLEAU M., VINH HO T., 2011: Toward a Methodology of Collaborative Modeling and Simulation of Complex Systems, Collaborative Systems and Applications, pages 27-53

THEVENIN T., 2011: Modeling transport systems on an intra-urban scale, in BANOS A., THEVENIN T., Geographic information and urban transport systems, Wiley, London, p. 3-28

THEVENIN, T., 2010 : Modéliser les systèmes de transport à l'échelle intra-urbaine, In Banos, A., Thévenin, T. (Eds.), Système de transport urbain : caractérisation de l'offre et estimation de la demande. Hermès science : Lavoisier, Paris, pp. 21-42.

2010

BANOS Arnaud, BOFFET-MAS Annabelle, CHARDONNEL Sonia, LANG Christophe, MARILLEAU Nicolas, THEVENIN Thomas, 2010, MIRO : des trajectoires individuelles à la ville en mouvement, in ANTONI Jean-Philippe (Dir), Modéliser la ville : formes urbaines et politiques de transport, Economica, 448 p.

BANOS A., THEVENIN T., 2010. Generation of potential fields and route simulation based on the household's mobility survey. Geographic Information and Urban Dynamics, Vol. 1 :

Mobility and urban form. From analysis to simulation. Thériault M., Des Rosiers F., (eds.).
Londres : Wiley,

CHARDONNEL S., CHARLEUX L., THIBAUT P. : Analyser les routines dans les emplois du temps par la mesure des concordances d'actogrammes, in BANOS A., THEVENIN T. (Dir.): Mobilités urbaines et risques des transports : approches géographiques, Hermès, Paris

CHARLEUX L, CHARDONNEL S., 2010 : Visualisations animées pour l'exploration des trajectoires individuelles de mobilité : guider l'intuition dans l'analyse de données complexes, in : Foltête J.-C. (dir.), Actes des Neuvièmes Rencontres de Théo Quant, Besançon. ISSN 1769-6895.

MIRO, 2010 : Simuler la mobilité urbaine quotidienne, in BANOS A., THEVENIN T. (Dir.): Mobilités urbaines et risques des transports : approches géographiques, Hermès, Paris

2009

GAUDOU B, HO TV, MARILLEAU N., 2009 Collaboration in methodologies of modelling and simulation of Complex Systems, in: Intelligent Networking, Collaborative Systems and Applications, Springer, 1-8

COMMUNICATION (CONFERENCE)

2012

BANOS A., 2012 : Non coordinated behaviour and emergence of spatial structures, S4 ENVISA/MODUS Conference « Managing Complexity in Land Use and Environmental Impacts Modelling », Luxembourg, 14-15 May 2012 (*conférence invitée*)

I. Hassoumi, Christophe Lang, Nicolas Marilleau, M. Temani, K. Ghedira, and J.-D. Zucker. Toward a spatially-centered approach to integrate heterogeneous and multi-scales urban component models. In Y. Demazeau, J. Müller, J.-M. Corchado, and J. Bajo, editors, PAAMS 2012, 10th Int. Conf. on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems, volume * of AISC, Salamanca, Spain, pages ***--***, March 2012. Springer. Note: To appear.

Guillaume Laville, Kamel Mazouzi, Christophe Lang, Nicolas Marilleau, and Laurent Philippe. Using GPU for Multi-agent Multi-scale Simulations. In DCAI'12, 9-th Int. Conf. on Advances in Intelligent and Soft Computing, volume 151 of Advances in Intelligent and Soft Computing, Salamanca, Spain, pages 197--204, March 2012. Springer.

2011

BANOS A., 2011 : The Miro project, ANR-NSF workshop, Paris, March 24-25, 2011 (*conférence invitée*)

BANOS A., 2011 : The Miro project, International Workshop on Modeling Mobility in the City Space Tel- Aviv, February 06-09, 2011 (*conférence invitée*)

BLANCHART E., CAMBIER C., CANAPE C., GAUDOU B., LANG C., MICHEL F., et al., 2011 : EPIS : a grid platform to ease and optimize multi-agent simulators running, PAAMS, Salamanca, Espagne, pp. 129-134

CHIPEAUX S., BOUQUET F., LANG C., MARILLEAU N., 2011 : Modelling of complex system with AML as realized in MIRO project, Conférence lafLang : Learning, Agents and formal languages 22 Août 2011 - Lyon, France

CONESA, A., Reconfigurer la ville et les réseaux, une approche par la mesure de l'accès aux ressources urbaines mobilisant les programmes d'activité, GERI (Groupe d'Echanges et de Recherche de l'IFSTTAR), 23-24 Juin 2011, Aix-en-Provence

MIRO, 2011 : The Miro project, ECQTG 2011, Special session Spatial simulation in geography: agent-based modelling, geocomputational experiments and evaluation protocols, Athens, 2-5 sept

THEVENIN, T., 2011 : 40 years of time geography: future and prospect, Association of American geographers conference, Seattle, avril 2011

Sébastien Chipeaux, Fabrice Bouquet, Christophe Lang, and Nicolas Marilleau. Modelling of complex systems with AML as realized in MIRO project. In LAFLang 2011, workshop of the Int. Conf. WI/IAT (Web Intelligence and Intelligent Agent Technology), Lyon, France, pages 159--162, August 2011. IEEE Computer Society.

2010

HASSOUMI I., LANG C., MARILLEAU N., 2010 : Mise en place et évaluation d'un algorithme de répartition de charge pour les plates-formes de simulations distribuées basées sur les systèmes multi-agents. Journées Françaises sur les Systèmes Multi-Agents (JFSMA), 18-20 octobre 2010, Mahdia, Tunisie.

2009

BANOS A., 2009 : Comportements individuels non coordonnés et organisation de l'espace géographique, Colloque National des systèmes complexes « Vers une science et ingénierie des systèmes complexes », Paris, 25-27 novembre 2009 (*conférence invitée*)

BANOS A., 2009 : Agent-based simulation of self-organised processes in geographical space, ANR-NSF Workshop on "Dynamics in the Human Sciences: Cognitive, Behavioral, & Social Complexity", 27-28 April 2009, REIMS

GAUDOU B, HO TV, MARILLEAU N., 2009: Introduce collaboration in methodologies of modelling and simulation of Complex Systems. In: INCOS'09, Barcelona: IEEE

ORGANISATION DE CONFERENCES, WORKSHOPS ET SEMINAIRES

CHARDONNEL S., CHARLEUX L., CONESA A., Mobilités spatiales et ressources métropolitaines : l'accessibilité en question, Colloque Mobilité Spatiale et Fluidité Sociale (MSFS), Grenoble, 24-26 Mars 2011

CHARDONNEL S., 2009 : Séminaire MIRO autour de Cécile Tannier (UMR Théma, Besançon), Grenoble, 30 novembre 2009

CHARDONNEL S., THEVENIN T., 2009 : Workshop MIRO autour de Mei-Po Kwan (University of Colombia) et Martin Dijst (University of Utrecht), Dijon, 25-26 mai 2009

CONFERENCE VULGARISATION

BANOS A., 2009 : Le projet MIRO, Séminaire « Modélisation » du PREDIT, 16 juin 2009, Paris, La Défense

VULGARISATION (AUTRE)

Le prototype SMARtAccess est présenté dans le film « Le rail et la ville » réalisé par Christian Lallier, anthropologue-cinéaste, dans son film documentaire de recherche sur l'urbanisme et le rail (gares, trains, tram) sur commande de la Mission Transport du Ministère du Développement Durable (sortie prévue automne 2010).

ECOLE THEMATIQUE ET ATELIER SCIENTIFIQUE

6th Complex Systems Summer School, Complex Systems Institute, Paris, 2-13 July 2012 (www.iscpif.fr), Arnaud Banos organise l'école et Arnaud Banos et Nicolas Marilleau y interviennent comme formateurs

Ecole d'été CNRS MAPS4 (mODELISATION MULTI-aGENTS APPLIQUEE AUX pHENOMENES sPATIALISES, 17-22 juin 2012) : Arnaud Banos, Elise Beck et Nicolas Marilleau participent à l'organisation de l'école (<http://maps.csregistry.org/tiki-index.php>)

Ecole d'été CNRS MAPS3 (mODELISATION MULTI-aGENTS APPLIQUEE AUX pHENOMENES sPATIALISES, 9-14 octobre 2011) : Arnaud Banos Elise Beck et Nicolas Marilleau participent à l'organisation de l'école (<http://maps.csregistry.org/tiki-index.php>)

5th Complex Systems Summer School, Complex Systems Institute, Paris, 4-16 July 2011 (www.iscpif.fr), Arnaud Banos organise l'école et Arnaud Banos et Nicolas Marilleau y interviennent comme formateurs

Ecole d'été CNRS MAPS (mODELISATION MULTI-aGENTS APPLIQUEE AUX pHENOMENES sPATIALISES, 24-26 juin 2009) : Elise Beck a participé à l'organisation de

l'école, Arnaud Banos et Nicolas Marilleau y sont intervenus en tant que formateurs (<http://maps.csregistry.org/tiki-index.php>)

Atelier Scientifique CNRS de Berder "Modélisation des phénomènes sociaux et spatiaux : évaluation et validation des modèles de simulation individu-centrés" (12-14 mai 2009) :
Participants : Arnaud Banos, Sonia Chardonnel

E.3 LISTE DES ELEMENTS DE VALORISATION

*La liste des éléments de valorisation inventorie les retombées (autres que les publications) décomptées dans le deuxième tableau de la section **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** On détaillera notamment :*

- brevets nationaux et internationaux, licences, et autres éléments de propriété intellectuelle consécutifs au projet.
- logiciels et tout autre prototype
- actions de normalisation
- lancement de produit ou service, nouveau projet, contrat,...
- le développement d'un nouveau partenariat,
- la création d'une plate-forme à la disposition d'une communauté
- création d'entreprise, essaimage, levées de fonds
- autres (ouverture internationale,..)

Elle en précise les partenariats éventuels. Dans le cas où des livrables ont été spécifiés dans l'annexe technique, on présentera ici un bilan de leur fourniture.

Les prototypes suivants ont été développés :

_BeoAMLSIG : ce plugin de BeoModeler intègre le méta-modèle agent développé dans MIRO et propose de nouvelles palettes d'élaboration de modèles.

_MIROVerif : ce prototype permet de lancer des vérifications sur le modèle développé sous BeoModeler.

_ MIRO : développé au sein de la plateforme de simulation libre GAMA, ce prototype permet de simuler un grand nombre de déplacements individuels motorisés et non motorisés en milieu urbain, à partir de populations synthétiques d'agents (plusieurs dizaines de milliers) réalisant des chaînes d'activités quotidiennes.

_ SMARtAccess : développé au sein de la plateforme de simulation libre NetLogo, ce prototype permet de simuler des déplacements motorisés en milieu urbain, déplacements centrés sur la réalisation de chaînes d'activités en condition de trafic. Une version « jeux sérieux » permet également de réunir différents acteurs autour d'un scénario (dans une version simplifiée du modèle) et de les faire participer activement à différentes simulations, afin de les amener à prendre conscience des conséquences possibles de comportements individuels, mais également de politiques publiques, à la fois sur la ville en mouvement et sur les conditions de vie locales des citoyens.

_ GéoGrapheur : développé en java, ce logiciel permet d'explorer des données spatio-temporelles complexes, notamment les données d'enquêtes ménages-déplacements et les sorties de simulateurs multi-agents

E.4 BILAN ET SUIVI DES PERSONNELS RECRUTES EN CDD (HORS STAGIAIRES)

Ce tableau dresse le bilan du projet en termes de recrutement de personnels non permanents sur CDD ou assimilé. Renseigner une ligne par personne embauchée sur le projet quand l'embauche a été financée partiellement ou en totalité par l'aide de l'ANR et quand la contribution au projet a été d'une durée au moins égale à 3 mois, tous contrats confondus, l'aide de l'ANR pouvant ne représenter qu'une partie de la rémunération de la personne sur la durée de sa participation au projet.

Les stagiaires bénéficiant d'une convention de stage avec un établissement d'enseignement ne doivent pas être mentionnés.

Les données recueillies pourront faire l'objet d'une demande de mise à jour par l'ANR jusqu'à 5 ans après la fin du projet.

Identification				Avant le recrutement sur le projet			Recrutement sur le projet				Après le projet				
Nom et prénom	Sexe H/F	Adresse email (1)	Date des dernières nouvelles	Dernier diplôme obtenu au moment du recrutement	Lieu d'études (France, UE, hors UE)	Expérience prof. Antérieure, y compris post-docs (ans)	Partenaire ayant embauché la personne	Poste dans le projet (2)	Durée missions (mois) (3)	Date de fin de mission sur le projet	Devenir professionnel (4)	Type d'employeur (5)	Type d'emploi (6)	Lien au projet ANR (7)	Valorisation expérience (8)
Chipeaux Sébastien	H	Sebastien.chipeaux@lifc.univ-fcomte.fr		Master Recherche en Informatique	France	3 ans d'ingénieur de recherche	Partenaire 2 (Lang Christophe)	Développement de la plateforme et des algorithmes associés	36	01/01/2013					
Conesa Alexis	H			Doctorat	France	Doctorant INRETS	Partenaire 3 (S.Chardonnel)	Post-Doctorat	12	01/09/2011	Maitre de Conférences	Université de Strasbourg	Maitre de Conférences	Toujours actif	
Leysens Thomas	H			Doctorat	France	Doctorant IFFSTAR-LVMT	Partenaire 3 (S.Chardonnel)	Post-Doctorat	12	31/12/2012					
Ginhoux Alex	H	alex.ginhoux@edu.univ-fcomte.fr		Licence 3 informatique	France	Aucune	Partenaire 2 (Lang Christophe)	Stagiaire développement BeoModeler	6	28/08/2012					
Challéat Samuel	H	samuel.challéat@u-bourgogne.fr		Doctorat	France	Doctorant ThéMA	Partenaire 4 (Thomas Thevenin)	IGE	10	30/07/2012					

Aide pour le remplissage

- (1) **Adresse email** : indiquer une adresse email la plus pérenne possible
- (2) **Poste dans le projet** : post-doc, doctorant, ingénieur ou niveau ingénieur, technicien, vacataire, autre (préciser)
- (3) **Durée missions** : indiquer en mois la durée totale des missions (y compris celles non financées par l'ANR) effectuées sur le projet
- (4) **Devenir professionnel** : CDI, CDD, chef d'entreprise, encore sur le projet, post-doc France, post-doc étranger, étudiant, recherche d'emploi, sans nouvelles
- (5) **Type d'employeur** : enseignement et recherche publique, EPIC de recherche, grande entreprise, PME/TPE, création d'entreprise, autre public, autre privé, libéral, autre (préciser)
- (6) **Type d'emploi** : ingénieur, chercheur, enseignant-chercheur, cadre, technicien, autre (préciser)
- (7) **Lien au projet ANR** : préciser si l'employeur est ou non un partenaire du projet
- (8) **Valorisation expérience** : préciser si le poste occupé valorise l'expérience acquise pendant le projet.

Les informations personnelles recueillies feront l'objet d'un traitement de données informatisées pour les seuls besoins de l'étude anonymisée sur le devenir professionnel des personnes recrutées sur les projets ANR. Elles ne feront l'objet d'aucune cession et seront conservées par l'ANR pendant une durée maximale de 5 ans après la fin du projet concerné. Conformément à la loi n° 78-17 du 6 janvier 1978 modifiée, relative à l'Informatique, aux Fichiers et aux Libertés, les personnes concernées disposent d'un droit d'accès, de rectification et de suppression des données personnelles les concernant. Les personnes concernées seront informées directement de ce droit lorsque leurs coordonnées sont renseignées. Elles peuvent exercer ce droit en s'adressant l'ANR (<http://www.agence-nationale-recherche.fr/Contact>).