
Génération d'emplois du temps individuels pour une simulation multi-agents des mobilités urbaines quotidiennes

**Arnaud Banos¹ - Nicolas Marilleau² - Thomas Thévenin³ -
Sonia Chardonnel⁴ - Christophe Lang² - Annabelle Boffet Mas⁵**

¹*SET (UMR 5603 CNRS)
Université de Pau et des Pays de l'Adour
Avenue du Doyen Poplawski
64000 Pau
E.mail : arnaud.banos@univ-pau.fr*

²*LIFC (FRE 2661 CNRS)
Université de Franche-Comté
16 route de Gray
25030 Besançon Cedex
E.mail : marilleau@lifc.univ-fcomte.fr*

³*ThéMA (UMR 6049 CNRS)
Université de Bourgogne
Boulevard Gabriel
21000 Dijon
E.mail : thomas.thevenin@u-bourgogne.fr*

⁴*TERRITOIRES (UMR PACTE 5194 CNRS)
Institut de Géographie Alpine
14, bis avenue Marie Reynoard
38100 Grenoble
E.mail : sonia.chardonnel@ujf-grenoble.fr*

⁵*CEDETE
Université d'Orléans
10, rue de Tours
45072 ORLEANS cedex2
E.mail : aboffet@univ-orleans.fr*

RÉSUMÉ. Dans le cadre du projet pluridisciplinaire MIRO, nous proposons une approche, centrée sur les individus en mouvement, qui permet d'explorer ce système complexe organisé qu'est la ville. A cette fin, nous nous positionnons à la fois dans le cadre théorique de la Time Geography et dans celui de l'intelligence artificielle distribuée. Notre objectif premier est de créer un prototype multi-agents permettant d'évaluer l'influence de comportements individuels. Pour cela, nous construisons une population synthétique d'agents à partir de données réelles issues d'une enquête ménage. Chaque individu est qualifié par un ensemble de tâches représentatives des activités quotidiennes. Ces dernières sont ensuite organisées dans le temps par un algorithme informatique afin de reproduire des programmes d'activités réalistes. Le résultat final consiste à traduire ces séquences sous la forme de déplacements afin d'alimenter nos simulations futures. Cet article présente la méthodologie adoptée pour élaborer les programmes d'activités : de la création d'une population synthétique à la génération automatique des emplois du temps par un solveur à contraintes. Ce travail de recherche est en cours d'expérimentation sur l'agglomération de Dijon.

ABSTRACT. Space-time-activity surveys have been widely used in France since the 1970's. However, these surveys have most of the time been exploited in a much aggregated perspective, providing very classical macro indicators. Nonetheless, they provide very rich and detailed information about the daily mobility of urban populations, for example on trip chaining. Given the increasing complexity of urban daily mobility and the increasing needs of urban planning, it then makes sense to improve our practice, including our capacity to reveal complex patterns by simulation. In such a perspective, we present an attempt to model and simulate the "swarming" city, using a multi-agents system (MADKIT platform). In our model, agents are designed to plan activity programs and perform their corresponding trips in a dynamic urban environment they need to explore, given their initial limited knowledge. This paper will then focus on two key challenges: a) the creation of a population of artificial agents that may be representative of a surveyed sample ; b) the automated generation of individual daily activity programs.

MOTS-CLÉS : Ville, Mobilité quotidienne, Programme d'activité, Time geography, Système complexe, Système multi-agents.

KEYWORDS: Multi-agent Systems, Space-time activity survey, Time Geography, Urban mobility, Urban simulation.

1. Introduction

Depuis les années 1970, les enquêtes ménages déplacements sont couramment utilisées en France pour construire les principaux indicateurs de mobilité urbaine (Certu, 1998), à des niveaux d'échelle la plupart du temps très agrégés (Banos et Thevenin, 2005). Pourtant, ces enquêtes fournissent des informations très détaillées sur la mobilité quotidienne d'échantillons représentatifs de citoyens, informations très rarement exploitées à ce niveau individuel de détail. Face à la complexité croissante des déplacements et aux besoins plus pressants de la gestion urbaine, il semble justifié de chercher à exploiter plus et mieux cette source d'information, dans des perspectives d'analyse et d'exploitation renouvelées (Bailly et Heurgon, 2001).

Le projet MIRO¹, financé par le ministère des transports via le PREDIT2, s'inscrit dans cette perspective en proposant une exploitation originale des enquêtes ménages déplacements, dans le cadre d'une démarche associant à la fois la time - geography et l'intelligence artificielle distribuée. L'un des objectifs clés de ce projet pluridisciplinaire réside en effet dans la construction d'une plateforme multi-agents permettant d'explorer, par simulation, l'influence sur le fonctionnement collectif de l'espace urbain, de comportements individuels orientés notamment vers la construction et la réalisation de programmes quotidiens d'activités (Banos et al., 2005). Toutefois, le succès de cette entreprise repose, entre autre, sur la création d'agents socialement pertinents. Il s'agit là d'un enjeu classique de ce type d'approche, fondée sur l'exploration des structures et des comportements collectifs susceptibles d'émerger des interactions localisées entre des comportements individuels.

L'objectif de cet article est de présenter un protocole méthodologique original permettant, à partir de données d'enquête ménages déplacements :

- d'une part, de générer une population « synthétique » d'agents, image de la population de référence selon une combinaison de critères sociaux, démographiques et de mobilité ;
- d'autre part, de définir, pour chacun de ces agents, un emploi du temps individualisé pour une même journée.

Un bref exposé de l'état de l'art dans ce domaine permettra dans un premier temps de préciser les orientations méthodologiques retenues. Les deux parties suivantes présenteront alors le couplage population synthétique/emploi du temps. Enfin, l'analyse des premiers résultats permettra de porter un regard critique sur la démarche et d'exposer plusieurs perspectives de recherche.

¹ Modélisation Intra-urbaine des Rythmes quOtidienS [Banos et al. 2005].

2 Comment aborder la notion de population synthétique ?

La notion de « population synthétique » a été développée par une équipe de chercheurs américains de Los Alamos, engagée dans la production du modèle de micro-simulation le plus abouti à l'heure actuelle dans le domaine des transports : TRANSIMS (Balmer et al., 2004) (Barrett et al., 2004). Cette expression repose sur une double idée. D'une part, il est possible de créer une population d'individus artificiels. D'autre part ce groupe d'individus doit pouvoir être considéré comme une image synthétique de la population initiale, pour un nombre réduit mais néanmoins pertinent de caractéristiques. Cette section présente la démarche de TRANSIMS puis l'approche adoptée par l'équipe MIRO.

2.1 La démarche modulaire de TRANSIMS

La démarche retenue dans le projet TRANSIMS comprend deux étapes (figure 1) : un premier module, dénommé « Synthétiseur de population » permet de générer cette population synthétique en utilisant des données de recensement, tandis qu'un second module « Générateur d'activités » permet d'affecter des activités aux individus ainsi créés, à partir de données d'enquête de mobilité.

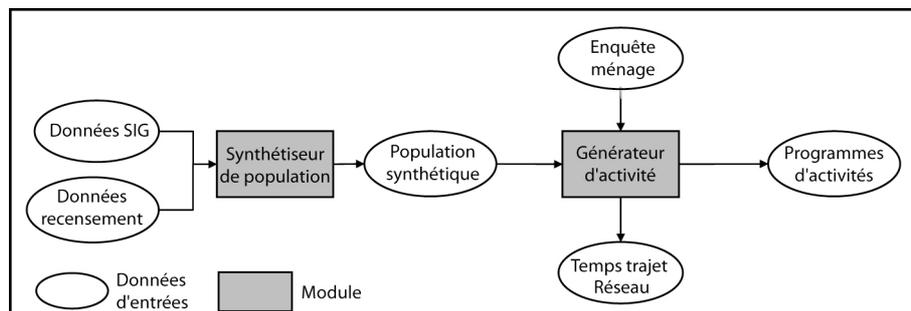


Figure 1. Une vision globale de l'approche modulaire de TRANSIMS

Le lien entre les deux modules s'effectue par la mise en concordance des caractéristiques socio-démographiques des individus artificiels créés avec ceux de l'enquête de mobilité. Un système de boucles de rétroaction permet, par ailleurs, d'ajuster au fur et à mesure les combinaisons produites, par comparaison avec des estimateurs globaux. Nous nous sommes directement inspirés de cette démarche dans MIRO, tout en proposant un certain nombre de modifications.

2.2 L'approche adoptée dans MIRO

La spécificité de MIRO réside dans l'importance accordée, au-delà des caractéristiques d'ordre socio-démographique, aux activités quotidiennes individuelles. L'objectif est en effet de générer une population synthétique d'agents virtuels auxquels sera affectée une liste d'activités à assurer au cours d'une journée-type, et de laisser ces agents organiser et réaliser eux-mêmes leur emploi du temps, en fonction des opportunités offertes et des contraintes imposées par l'environnement urbain. Nous avons ainsi privilégié une approche guidée par les données disponibles sur un terrain d'étude précis : la Communauté d'Agglomération de Dijon. Par ailleurs, notre démarche réside dans la place centrale que nous accordons à cette enquête, tout au long de la procédure. Nous avons ainsi formulé l'hypothèse que l'enquête ménages déplacements, supposée être représentative par construction de la population locale, pouvait être exploitée dès la phase de génération de la population synthétique d'agents (figure 2).

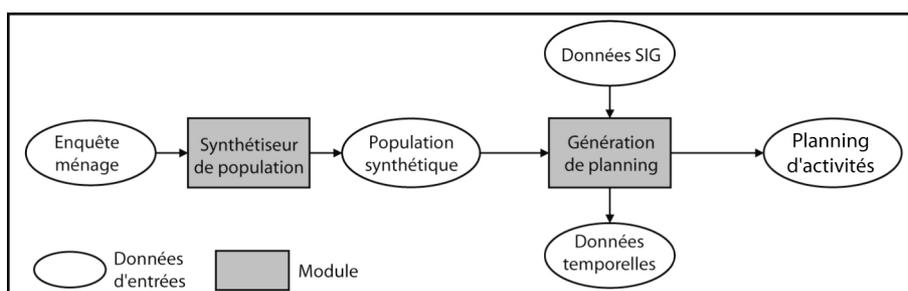


Figure 2 : l'approche retenue dans MIRO

La place accordée à cette enquête repose sur une idée simple : l'obtention d'une population d'agents clairement différenciés du point de vue de leurs programmes d'activités (c'est-à-dire de leur liste d'activités quotidiennes hiérarchisées en fonction de priorités définies) devrait être facilitée par l'intégration de ce critère à l'intérieur même du module de génération de population synthétique.

3. Construction des profils d'agents

Dans un premier temps, des groupes homogènes selon un ensemble de critères socio-démographiques et de mobilité ont été identifiés à partir de l'enquête ménages. Dans un second temps, les profils d'activités de ces groupes ont été définis, base agrégée à partir de laquelle les profils d'activités individuels des agents peuvent être générés.

3.1 De l'enquête ménage aux profils des agents

La constitution des groupes homogènes a été effectuée à partir de trois grandes sources d'information issues de l'enquête ménage de Dijon. Le fichier « individu » comporte des variables sur le sexe, l'âge et la catégorie sociale des personnes enquêtés. Cette première table est complétée par les données communiquées à l'échelon du ménage qui nous renseigne sur le nombre de personnes dans le foyer, le type de logement occupé ainsi que la motorisation. La table déplacements rassemble de nombreuses informations sur les modes de locomotion utilisés, la fréquence des trajets et le temps affecté à chaque motif a été dérivé du fichier original.

Ces trois grandes catégories d'information ainsi structurées ont été soumises à un traitement statistique multivariée : l'Analyse en Composantes Multiples (ACM) combinée à une Classification Hiérarchique Ascendante (CAH).. Les profils de classe (figure 3) permettent par ailleurs de décrire de manière relativement détaillée ces différents groupes, en raisonnant en terme de sous- et sur-représentation statistique. Les six groupes identifiés suivent les grandes tendances suivantes :

- **Groupe 1** : cette catégorie rassemble des femmes âgées et célibataires. Elles se déplacent peu et effectuent principalement leur trajet en transport collectif et marche à pied. Le budget-temps est essentiellement consacré à des activités au domicile

- **Groupe 2** : les scolaires de moins de 18 ans constituent le second groupe. Ces adolescents appartiennent à des familles propriétaires de leur logement et possédant plusieurs automobiles. Les modes de transports publics et doux (vélo, piéton) sont privilégiés et le budget-temps est affecté aux activités sur le lieu d'étude et à des activités sociales (notamment les visites).

- **Groupe 3** : ce groupe est composé de chômeurs et d'inactifs de plus de 30 ans locataires d'un appartement. Les déplacements sont effectués en mode doux essentiellement (piéton et vélo) et le budget-temps est passé au domicile ainsi que dans les administrations pour les démarches.

- **Groupe 4** : exclusivement concerné par les étudiants sans voiture et locataire de leur logement, cette catégorie est utilisatrice des transports collectifs et des modes doux. Peu de déplacements sont effectués, ainsi le budget-temps est consommé sur le lieu d'étude et en visite.

- **Groupe 5** : cette catégorie rassemble les couples de retraités, propriétaires de leur logement et possédant une seule voiture. Peu de déplacements sont effectués, ainsi la majorité du budget-temps est passée au domicile.

- **Groupe 6** : composé d'actifs possédant plusieurs véhicules, le nombre de déplacements de ce dernier groupe est proche de la moyenne. Le budget-temps est consacré principalement au travail et à l'accompagnement.

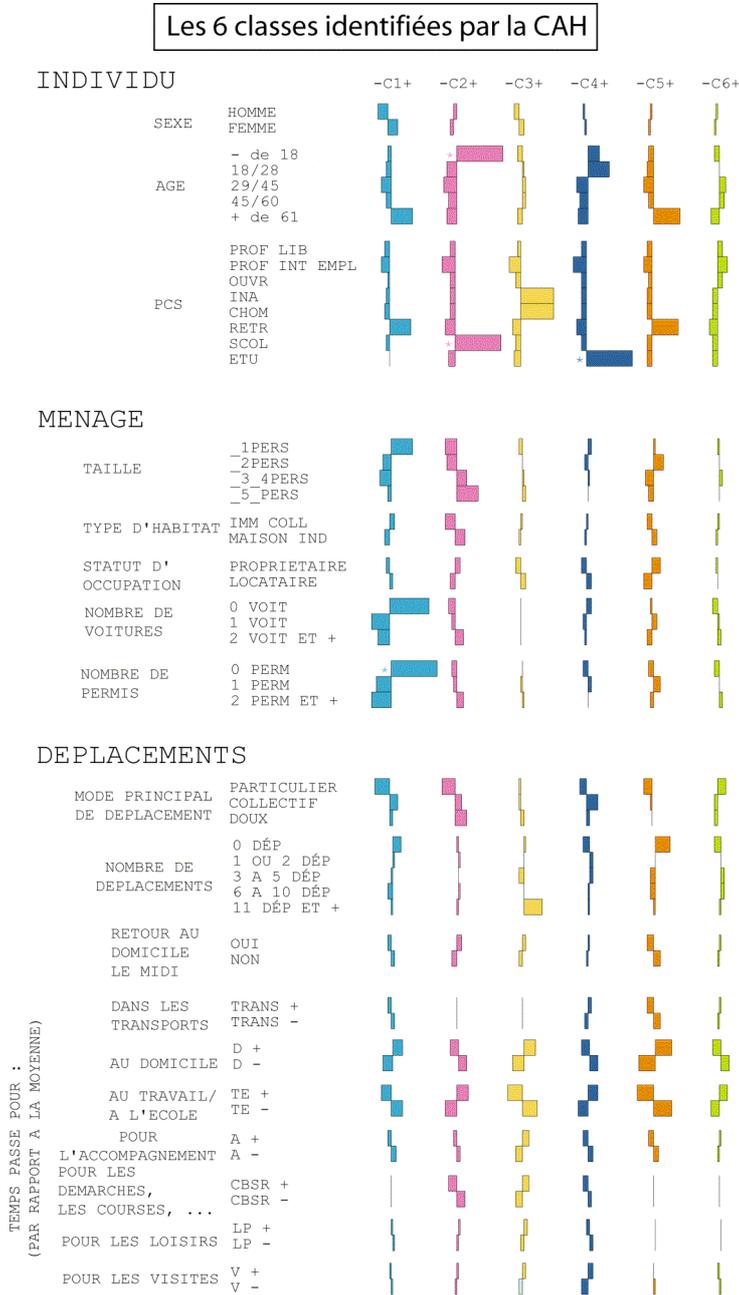


Figure 3 : six profils socio-démographiques et d'activités identifiés par la CAH

Pour chacune de ces catégories, les données de l'enquête ménage ont été utilisées afin de déterminer un budget-temps associé aux diverses activités (transport, domicile, travail, courses, loisir...), ces variables constituant les profils des groupes à partir desquels les agents sont générés.

3.2 Du profil de groupe aux budgets-temps individuels

De manière très schématique, un agent se définit par un ensemble de caractéristiques (variables) et de comportements (règles). Dans cet article, nous nous focalisons sur la première composante et sur le problème de l'obtention de population d'agents qui aient des caractéristiques proches d'une population de référence, observée. La dimension socio-démographique de ces caractéristiques est gérée à travers l'affectation de chaque agent à l'un des 6 groupes (ou classes) définis à l'issue de la procédure multi-dimensionnelle présentée. Chaque agent de la population synthétique est alors décrit par un ensemble de variables, dont les modalités constituent pour l'essentiel son budget-temps. L'objectif est de construire ces profils personnalisés, en fonction du budget-temps moyen du groupe auquel appartient chaque agent. De manière plus formelle, chaque groupe issu de l'enquête ménages peut donc être défini par un ensemble de variables, de modalités et d'effectifs :

$$G_j = \{V, M_V, N_{M_V}\} \quad [1]$$

L'objectif du synthétiseur de population est alors de générer n agents $\{A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n\}$ décrits par un groupe d'appartenance et un ensemble d'attributs :

$$A_i = \{g_j, m_v\} m_v \in M_V \quad [2]$$

et tels que, à l'issue de la procédure,

$$g_j \equiv G_j, \forall j \rightarrow 1 \text{ à } n \quad [3]$$

Sur cette base, chaque agent simulé se voit donc affecter à un groupe g_j , selon une probabilité :

$$P(g_j) = \frac{n_{G_j}}{\sum_{j=1}^6 n_{G_j}} \quad [4]$$

avec n_{G_j} l'effectif observé du groupe G_j .

En fonction du groupe d'appartenance, chaque agent se voit alors affecter, pour chacune des variables $\{V_1, V_2, \dots, V_k, \dots, V_l\}$, une modalité m_v , selon une probabilité :

$$P(m_{v_k}) = \frac{N_{m_{v_k}}}{\sum_{l=1}^n N_{m_{v_k}}}, k \rightarrow 1 \text{ à } l \quad [5]$$

La figure 4 montre un exemple de résultat obtenu pour 3 agents $\{A_1, A_2, A_{10000}\}$.

Agent	A 1	A 2	...	A 10000
Groupe	g1	g1	...	g6
Mode de transport	TC	VP	...	TC
Retour Domicile	Non	Oui	...	Oui
Temps au Domicile (Flexible)	> 18h	> 18h	...	12 -18h
Temps au Travail (Fixe)	4-7h	0	...	4-7h
Temps de transport	1-2h	1-2h	...	0
Temps en courses (optionnel)	0	< 30 min	...	> 30 min
Temps de loisir (Optionnel)	0	0	...	0
Temps d'accompagnement (Flexible)	0	0	...	0
Temps de visite (Optionnel)	> 20 min	> 20 min	...	> 20 min
Zone de Résidence	1001	301	...	2401

Figure 4 : exemple de profils d'agents synthétiques générés

On notera que cette procédure, fondée sur des tirages aléatoires mutuellement indépendants au sein d'un même groupe g_j donné, peut déboucher sur des incohérences. Ainsi, dans l'exemple affiché, l'agent A_{10000} se voit affecter un temps de transport nul et un mode de transport TC (Transport en commun). On notera également que, pour un agent donné, la somme des durées affectées aux différentes activités n'est pas contrainte (par exemple à 24h). La prise en compte de ces deux types d'incohérences aurait nécessité la mise en œuvre d'une procédure beaucoup plus lourde, qui n'aurait pas garanti pour autant la qualité des résultats lors de l'étape suivante de génération des emplois du temps à partir de ces budgets-temps individuels. Aussi, nous avons préféré reporter cette quête de cohérence au sein du module final, qui nécessite une certaine flexibilité des données d'entrée afin d'élargir au besoin l'espace des solutions. Toutefois, au-delà de ces incohérences possibles, la procédure retenue permet de reproduire une bonne image de la population initiale à partir des profils de groupes (équation 3). La figure 5 montre

ainsi la distribution des écarts obtenus entre les effectifs observés N_M et les effectifs simulés n_m .

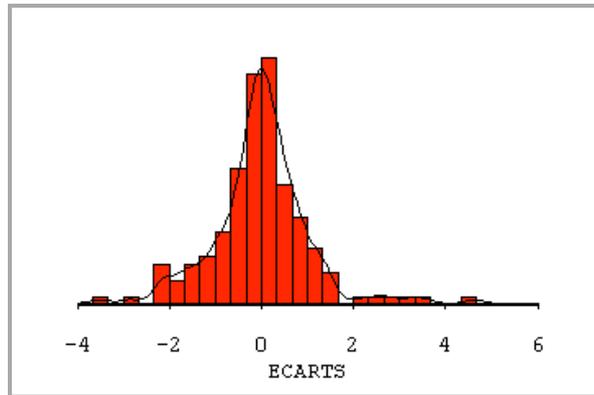


Figure 5 : distribution des écarts entre les profils de groupes issus de l'enquête et ceux générés par la procédure (en %)

L'étape suivante consiste à transformer les budgets-temps individuels ainsi générés en emplois du temps, en respectant un ensemble de contraintes.

4. Génération des emplois du temps

L'objectif de la génération des emplois du temps est d'ordonner dans le temps et dans l'espace les tâches qui sont attribuées à chacun des agents de la population synthétique. La création d'un emploi du temps s'effectue automatiquement en prenant en considération la durée de chaque activité, le temps de transport nécessaire pour se déplacer d'un lieu d'activité à un autre, et une typologie des tâches à effectuer par l'agent. Au cours de cette section nous abordons dans un premier temps la typologie des activités. Ensuite nous présentons le processus général de reproduction des programmes d'activités avant de nous focaliser plus en détail sur l'algorithme utilisé. La figure 6 décrit la démarche complète de génération des plannings. Nous y ferons référence dans la partie 4.2.

4.1 Classification des activités

Parmi l'ensemble des activités qu'un individu souhaite planifier au cours d'une journée, certaines apparaissent plus prioritaires que d'autres. Il est, par exemple, impératif d'aller travailler alors que les achats domestiques peuvent être reportés au lendemain. Cette hiérarchie entre les tâches a été établie selon trois niveaux (Stopher et al., 1996) :

- *Les activités fixes* (ex. travail) qui sont impérativement réalisées dans un lieu spécifique avec une durée précise.
- *Les activités flexibles* (ex. domicile et accompagnement) qui possèdent une marge de manœuvre sur la durée et/ou le lieu. Une telle tâche peut s'accomplir dans des lieux différents avec une durée variable.
- *Les activités optionnelles* qui outre leur flexibilité spatiale et temporelle ne doivent pas obligatoirement être réalisées (ex . loisirs).

Cette typologie se traduit par une flexibilité variable dans l'espace et dans le temps de l'exécution des activités. C'est pourquoi nous caractérisons les tâches manipulées dans le cadre du projet MIRO selon trois paramètres majeurs :

- *L'obligation d'exécution* : une activité peut être obligatoire ou non.
- *La durée* : une activité peut avoir une durée fixe, minimale, maximale ou encadrée entre deux bornes (une durée minimale et une maximale).
- *La localisation* : une activité, comme le travail, s'effectue dans un unique lieu (cad, le lieu professionnel principal) alors que d'autres sont réalisables dans divers lieux. La tâche « Achat » en est un exemple.

Tâche	Caractère	Durée	Localisation	Obligation
Travail	Fixe	Déterminée	Déterminée	Obligatoire
Accompagnement	Flexible	Variable	Déterminée	Obligatoire
Domicile	Flexible	Variable	Déterminée	Obligatoire
Achat	Optionnel	Variable	Variable	Optionnelle
Repas	Flexible	Variable	Variable/ Déterminée	Obligatoire
Visite	Optionnel	Variable	Variable	Optionnelle
Loisir	Optionnel	Variable	Déterminée	Optionnelle

Tableau 1 : Typologie des tâches manipulées

Ces propriétés constituent des contraintes clefs pour la génération des emplois du temps. Elles sont déterminées pour chaque type de tâche manipulée. En fonction des valeurs attribuées, le système de génération de l'emploi du temps est alors autorisé à supprimer ou non une tâche, à modifier sa durée, etc. Ainsi nous éliminons tous les problèmes liés à la concurrence des activités et nous rendons la génération d'un emploi du temps toujours possible.

4.2 Génération d'emplois du temps

Le système de génération des emplois du temps est exécuté pour chaque individu de la population synthétique. Son but est de définir les horaires de début et de fin de

chaque tranche d'activité. En effet, une même tâche se voit parfois découpée en plusieurs tranches panachées à différents moments de la journée. Par exemple, il est courant que l'activité « travail » soit décomposée en deux tranches, l'une s'accomplissant le matin et l'autre l'après midi. Les emplois du temps créés doivent tenir compte de la durée de chaque activité définie lors de la génération de la population synthétique, des contraintes d'accessibilité au bâti (horaire d'ouverture et de fermeture des lieux de travail, des magasins, etc...) ainsi que des temps de transport.

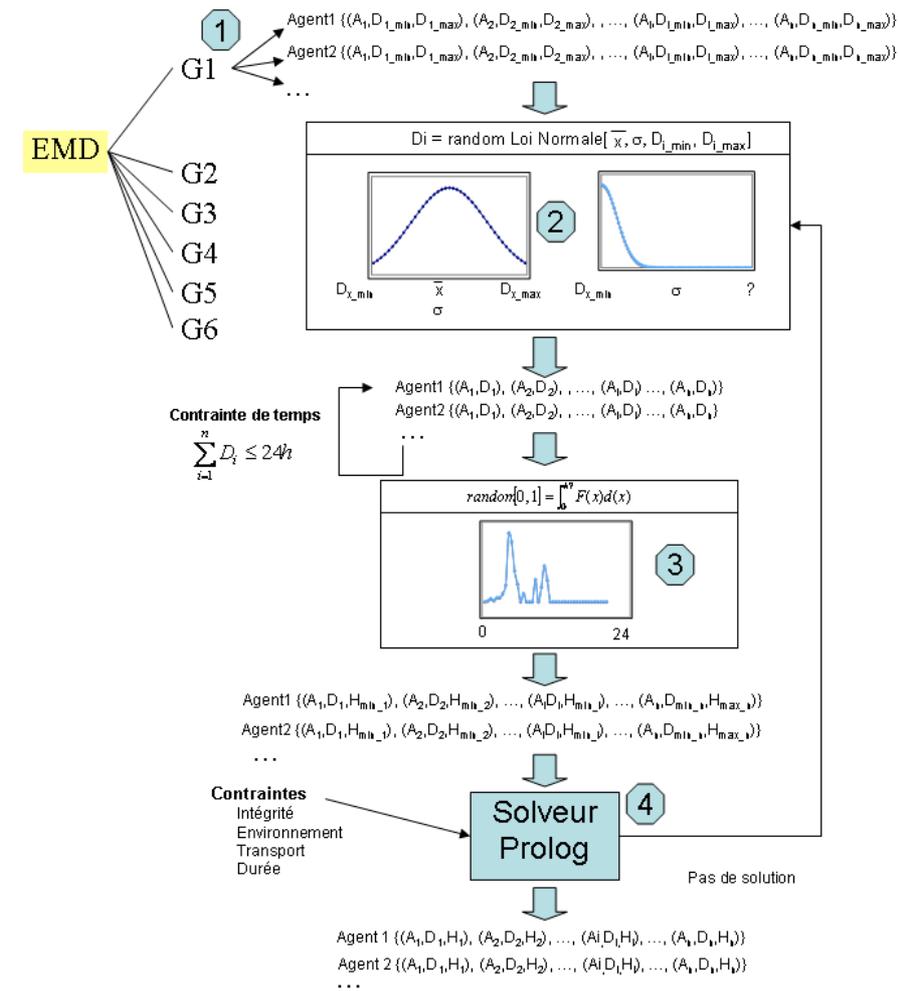


Figure 6 : génération des emplois du temps

Sur cette base, la génération des programmes d'activités se décompose en quatre étapes principales (figure 6) :

- L'étape 1 permet de générer aléatoirement des agents à partir des groupes précédemment identifiés. Chaque agent possède alors une liste d'activités nommées A_i associées à des durées minimales et maximales d'exécution.
- L'étape 2 consiste à effectuer un tirage aléatoire pour déterminer la durée de chaque tâche. Deux cas se présentent : le premier cas concerne les tâches dont la durée maximale ne dépasse pas 7 heures. Nous utilisons une distribution basée sur une courbe gaussienne dont la moyenne est le centre de l'intervalle constitué par les bornes maximales de durée. Dans le deuxième cas, la moyenne est la borne minimale de durée. Nous obtenons ainsi une durée pour chaque activité de chaque agent. Une première vérification est alors effectuée pour ne pas que la somme des durées des activités d'un agent dépasse 24 heures.
- L'étape 3 réutilise les activités précédemment générées afin d'assigner à celles-ci une heure minimale de début. Cet objectif est atteint par tirage aléatoire au sein de distributions statistiques observées des heures de début d'activités, telles qu'issues de l'enquête ménages-déplacements.
- Enfin, l'étape 4 utilise un solveur Prolog qui, à partir de contraintes temporelles décrites dans la partie 4.3 et des données précédemment générées, va créer des emplois du temps valides, c'est-à-dire des listes d'activités couplées à une durée et une heure de début. Si le solveur n'obtient pas de solution, un retour à l'étape 2 est réalisé, afin de modifier tout ou partie des paramètres.

Dans la partie suivante, nous entrons plus dans les détails de l'algorithme de génération utilisé dans le solveur Prolog.

4.3 Un algorithme pour la génération des emplois du temps

De nombreux algorithmes de génération d'emplois du temps sont présentés dans la littérature. Certains se basent sur la théorie des graphes, d'autres sur des algorithmes génétiques (Aickelin et al., 2004). Cependant, à notre connaissance, aucun d'entre eux ne propose une solution pour organiser des tâches pouvant se décomposer en plusieurs tranches et respectant des contraintes externes comme les horaires d'ouverture et de fermeture du bâti.

Les approches traditionnelles de programmation par un langage impératif tel que JAVA ne sont pas adaptées pour la création d'un algorithme tel que nous le

souhaitons. Notre choix s'est donc porté sur l'utilisation d'un outil emprunté au domaine de l'intelligence artificielle : le solveur CLP(FD) de Sicstus prolog.

L'utilisation de CLP(FD) repose sur une démarche simple : (i) la création de variables (ex. x, y, z) ; (ii) la définition de contraintes sur ces variables (ex. $x > y$, $x < z$, $y = 10$, $z = 20$) ; (iii) et l'évaluation automatique de ces variables par l'exécution du solveur (ex. $x \in]10 ; 20[$). Le fonctionnement interne de Sicstus est détaillé notamment dans les travaux de Carlsson et Holzbaur (Carlsson, 1997) et (Holzbaur, 1995).

Les variables de sortie, représentatives des emplois du temps, sont évaluées en fonction des paramètres d'entrées du solveur et de trois grands types de contraintes :

- *Les contraintes d'intégrité* vérifient la cohérence des emplois du temps. Elles contrôlent notamment qu'une tranche d'activité commence bien avant de se terminer et qu'elles ne se chevauchent pas.

- *Les contraintes d'environnement* assurent que les tranches d'activité s'accomplissent bien aux moments où cela est possible. Ainsi, l'activité de restauration s'effectue impérativement dans une fenêtre de temps [11h00, 15h00].

- *Les contraintes de transport* doivent être prises en compte, dans la mesure où un temps de transport est souvent nécessaire pour transiter d'un lieu d'activité à un autre. En première approximation, cette contrainte revient à découper le budget-temps de transport affecté à chaque individu et à l'intercaler entre tout couple d'activités.

Après l'ajout des différentes contraintes sur les variables, le solveur est en mesure de générer un emploi du temps. Lorsque le solveur ne trouve aucune solution la phase de pré-traitement est à nouveau exécutée afin de réduire la complexité de l'emploi du temps.

4.4 Résultats des premières simulations

Le protocole méthodologique présenté dans cet article a été testé en confrontant les emplois du temps construits par le solveur avec les emplois du temps observés dans l'enquête ménage. Deux simulations portant sur la même population synthétique ont retenu plus particulièrement notre attention. (figure 7).

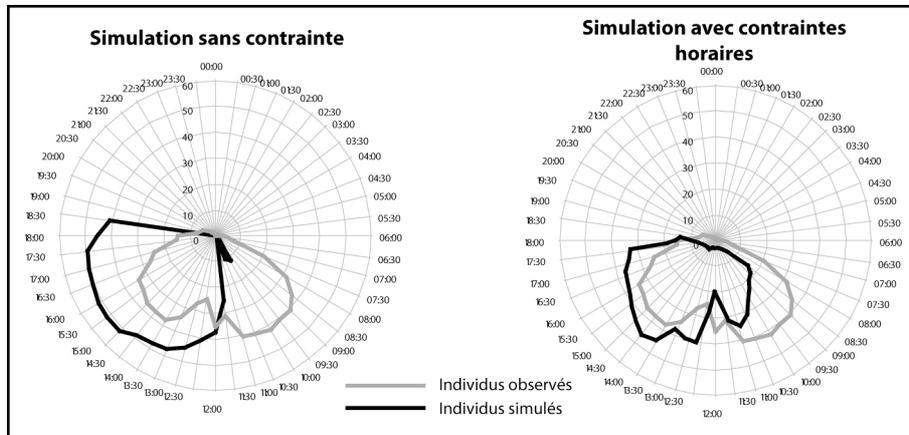


Figure 7 : distribution horaire des individus observés et simulés pour le motif travail

La différence majeure repose sur les contraintes horaires retenues. Dans la première simulation, les agents étaient libres d'accomplir toutes leurs tâches à n'importe quel moment de la journée. Des conditions plus réalistes ont été introduites dans la seconde expérimentation : les tâches ne pouvaient s'accomplir que dans une fenêtre de temps limitée pour un lieu donné, fenêtre définie à partir de distributions statistiques issues de l'enquête ménages-déplacements (figure 6, étape 3). La lecture de la figure 7 permet de mesurer les différences entre les deux scénarios. La première simulation génère des emplois du temps peu représentatifs de la population réelle. La majorité des individus simulés travaille en effet uniquement l'après-midi. Les résultats du second test reflètent davantage la réalité, même si un décalage significatif persiste.

5 Discussion

La démarche proposée vise ainsi à construire progressivement, par étape, des emplois du temps individualisés sur une base empirique (enquête ménages-déplacements). La création préalable de groupes statistiquement homogènes, en fonction de critères socio-démographiques et de mobilité, a été retenue dans un premier temps, afin d'obtenir un rapport efficacité/complexité raisonnable. L'hypothèse formulée est que ce protocole permet de créer des emplois du temps individualisés qui soient suffisamment différenciés entre, mais également à l'intérieur de ces groupes. La comparaison des budgets-temps des agents avec les budgets-temps moyens observés par groupe de l'enquête ménage devrait permettre de valider ou non la pertinence de cette hypothèse.

On notera également que l'approche modulaire retenue met en œuvre un certain nombre de tirages aléatoires mutuellement indépendants, dans des distributions statistiques théoriques ou empiriques. Ce choix, contestable à juste titre, se justifie

par les caractéristiques du solveur utilisé, capable d'élaborer des solutions fortement contraintes (emplois du temps) à partir d'informations initialement peu contraintes (les budgets-temps) et de contraintes exprimées par des prédicats. On peut à ce titre établir un parallèle intéressant entre l'approche de génération d'emplois du temps retenue et l'approche multi-agents des mobilités urbaines quotidiennes. L'approche par algorithme centralisé est en effet très limitative dès que nous abordons des problèmes dont la combinatoire est trop élevée. Dans ces deux approches, l'idée est alors de spécifier des contraintes et de les résoudre localement, pour faire émerger une solution globale. Dans un cas, cette approche par contraintes passe par la distribution du problème à travers les agents. Dans la génération d'emplois du temps en revanche, les contraintes appliquées à l'ensemble des tâches d'une personne permettent de faire émerger des solutions à travers un moteur d'inférence SICSTUS PROLOG.

Enfin, l'emphase volontairement apportée dans cet article à la génération d'emplois du temps ne doit pas faire oublier un autre enjeu de ce travail en cours : la localisation cohérente des agents, en fonction de leurs différentes activités mais aussi de leurs emplois du temps. Il s'agit en effet d'un préalable fondamental à la simulation multi-agents de la ville en mouvement, auquel nous nous consacrons à l'heure actuelle.

6. Bibliographie

- Aickelin U., Dowsland, K., « An Indirect Genetic Algorithm for a Nurse Scheduling Problem » *Journal of computers & Operations Research*, Vol 31, n°5, 2004, p. 761-778
- Bailly J.P., Heurgon E., « *Nouveaux rythmes urbains : quels transports ?* » Ed. Aube, Coll. Prospective du présent, La Tour d'Aigues, 2001, p. 221
- Balmer M., Nagel k; Raney B., « Large scale multi-agents simulations for transportation applications », EIRASS Conference 2004.
- Banos A, Thévenin T, « La carte animée pour révéler les rythmes urbains », *Revue Internationale de Géomatique*, Vol 15, n°1/2005, pp. 1-31
- Banos A., Thevenin T., Marilleau N., Chardonnel S., Lang, « Simulating the swarming city : a MAS approach », CUPUM, CASA – UCL, London, 29 jun – 1 july 2005, <http://www.cupum.org>
- Barrett C.L., Beckman R.J., Berkgigler K.P., Bisset K.R., Bush B.W., Eubank, S. Henson K.M., Hurford J.M., Kubicek D.A., Marath M.V.e, Romero P.R., Smith J.P., Smith L. L., Speckman P.L., Stretz P.E., Thayer G.L., Van Eeckhout E., and Williams M.D., « TRANSIMS » Volume 1-4, Los Alamos Unclassified Report, 2004
- Carlsson M., Ottosson G., Carlson B. « An Open-Ended Finite Domain Constraint Solver, Proc. Programming Languages: Implementations », Logics, and Programs, 1997.
- CERTU, CETE Lyon et Nord Picardie, « L'enquête ménage déplacement – Méthode standard », ed. CERTU, Lyon, 1998, p. 295

Holzbaur C., OFAI clp(q,r) Manual, Edition 1.3.3, « Austrian Research Institute for Artificial Intelligence », Vienna, TR-95-09, 1995.

Stopher PR. Hartgen DT., Yuanjun L., « SMART : simulation model for activities, resources and travel », ed. Kluwer, Transportation, Vol. 23, pp. 293-312