

## Sommaire

Partie 1 :

### *Cadrage de la problématique*

Partie 2 :

### *Les problématiques et la méthode*

Partie 3 :

### *Les données et localité*

Partie 4 :

### *Les traitements des données*

Partie 5 :

### *La modélisation*

Partie 6 :

### *Architecture et technologie*

Partie 7 :

### *Implémentation*

Partie 8 :

### *Les expériences*

Partie 9 :

### *Compléments*

Partie 10 :

### *Conclusion et ouverture*

Partie 11 :

### *Annexes*

Aborder de front la problématique des outils d'analyse territoriale reviendrait à négliger les enjeux qui les entourent.

Les outils qui permettent de traiter les problématiques de création, dimensionnement organisation, localisation des activités humaines sous contraintes environnementales et sociales s'inscrivent dans un contexte général qui semble nécessaire de présenter. Le présenter sous un angle, un point d'entrée, celui des « modes de vie durables »

### « Modes de vie durables »

« Les modes de vie durables », un sujet qui fait intervenir de nombreux facteurs (sociaux, économique, technologique, humain, territoriaux, environnementaux), qui sont inter-corrélés. Retirons un instant l'adjectif « durables », remplaçons-le par « actuels », et jetons un coup d'oeil à l'utilisation du budget des familles en unité de consommation<sup>12</sup>. Trois gagnantes « Produits alimentaires et boissons non alcoolisées », « Logement, eau, gaz, électricité et autres combustibles » et « Transports ».

Comment le « transport » a-t-il pu se hisser sur le podium ? Comment la croissance de la mobilité a transformé notre quotidien ? Comment elle a ouvert les possibles de l'industrie ? Comment elle a modifié la structure économique d'un état ? Et par conséquent comment ce facteur mobilité a métamorphosé notre société en une société mondialisée, qui se cache derrière nos produits du quotidien (Alimentaire, eau, gaz, électricité, combustible...).

### La mobilité

Qu'entendons-nous par mobilité ? Depuis la création du chemin de fer français en 1842 (1844 pour la Suisse avec une ligne entre Strasbourg et Bâle), il s'en est suivi un formidable développement de la technologie du transport qui nous emmène jusqu'ici en 2014, et l'on constate à présent qu'il n'y a pas ou peu de point sur le globe qui nous semble inaccessible.

La capacité de déplacement de l'homme actif sur le marché du travail, a grandi au point que la voiture est une banalité, prendre le train aussi et le nombre de lignes journalières d'avion dans le monde atteint des sommets et le tissu social s'étend en distance.

D'après la CNT, en 1968 un personne parcourait en moyenne 6.000 km (tous modes de transport confondus, hors marche à pied, en France) , 10.000 km en 1980 et 14.000 km en 2009. En Suisse, l'étude « Mobilité et transport 2010 » donne la statistique de 20.500 km par an et par personne<sup>3</sup>.

On parle de flux aussi bien pour les trajets domicile-travail, que dans la grande distribution qui implique des transporteurs routiers de toute l'Europe ou encore dans l'import-export.

Cette généralisation a tendance à nier la nature du territoire et son impact sur la structure qu'il y développe<sup>4</sup> (zone résidentielle, zone industrielle, péri-urbain, pôle d'emploi, axe autoroutier, LGV, aéroport, etc...). De plus ces flux ne sont pas neutres par leur nature, les émissions en CO<sub>2</sub> dépendent

---

<sup>1</sup> Insee, enquête budget de famille 2006. ,

<sup>2</sup> OFS, Revenus et dépenses des ménages en 2011

<sup>3</sup> OFS, Résultats du microrecensement mobilité et transports 2010

<sup>4</sup> « Les déplacements domicile-travail amplifiés par la périurbanisation » Brigitte Baccaïni, François Sémécurbe, Gwenaëlle Thomas, pôle Analyse territoriale, Insee Mars 2007

du transport utilisé, le rapport Deloitte commandé par l'ADEME en 2008, constate que pour un trajet en ville de 5 km la voiture émet 930 g, le bus 625 g et 25 g pour le tram, la comparaison est similaire pour l'interurbain sur un trajet de 600 km, l'avion émet 87.000 g, la voiture 48.000 g et le TGV 6.000 g.

Cette mobilité existe aussi pour les informations, avec le réseau internet, ainsi diffusion, accès et la demande en énergie liée à ce secteur sont démultipliés (Les serveurs ont une consommation électrique permanente, le réseau est actif jour et nuit).

Ce qui ajoute des facteurs d'attraction culturelle (Jean Balié, agronome de la FAO), de proximité culturelle, de mélanges culturels. Ces tendances combinées à la facilité des échanges modifient le paysage, la production (remplacement du café et de la canne à sucre par le soja au Brésil) et les comportements locaux. L'uniformisation de l'alimentation<sup>5</sup> est un exemple flagrant.

### *Le changement d'échelle*

La modification de notre échelle d'action est un fait, certains travaillent à Paris et dorment à Chartres 78 km, Vendôme 152 km ou Tours 205 km pour la France et de même en Suisse certains travaillent à Genève et dorment à Morges 52 km, Lausanne 65 km ou Berne 150 km. Elle est vérifiée aussi pour l'industrie, « Le groupe Renault s'appuie sur dispositif industriel international : 38 sites industriels dans 17 pays »<sup>6</sup>. Il en va de même pour un pays, qui fait jouer « La concurrence des pays émergents (Asie, Maghreb...) aux coûts de production très avantageux, un certain nombre d'activités ont été délocalisées. Ainsi, les importations représentent près de 40 % des ventes d'habillement et de cuir en 2006, contre 2 % en 1960 ».<sup>7</sup>

Une conséquence directe de la facilité d'échange et de mobilité : un pays peut se permettre de construire son économie en fonction de celle des autres. Les directives sont nationales, européennes (ex : PAC), voir mondiales (ex : OMC).

Deuxième conséquence, l'homme est donc par l'intermédiaire de son pays, de son emploi, des médias, des multinationales et de sa consommation à l'échelle de la terre.

En 1992, le sommet de Rio est le reflet de cette mondialisation, car la situation environnementale pose alors une question improbable, la terre est-elle à l'échelle de l'homme, de sa civilisation, de son mode de vie et de sa consommation ?

Il en ressort des idées, des idées de gestion de la planète, de droit et de responsabilité des états. Qui déboucheront sur une déclaration et un programme « action 21<sup>8</sup> ».

---

<sup>5</sup> « Géopolitique de l'alimentation », Gilles Fumey, CNRS

<sup>6</sup> © Renault 2012

<sup>7</sup> « Les achats d'habillement depuis 45 ans : davantage de produits importés, des prix en baisse »  
Danielle Besson, division Synthèses des biens et services, Insee 2009

<sup>8</sup> Ou « Agenda 21 »

La gestion de la planète, une idée de dimension tellement grande qu'elle paraît lointaine dans le quotidien. Où commence la gestion de la planète ? Peut-on parler de gestion ? A qui s'adresse ce programme ?... Aux Etats.

### *Les Etats*

Si nous regardons à l'échelle de la France (la politique Suisse est un sujet qui me demande un approfondissement), il faut s'interroger sur la gestion de cette dernière en matière d'environnement et de développement. Une institution est dédiée à la question, le Ministère du Développement Durable. La chambre des députés a aussi pris l'initiative de voter des lois (Loi n° 99-533 du 25 juin 1999) apportant ainsi de nouveaux pans du droit, celui de l'environnement et de l'urbanisme. Ceci se poursuit en 2007, le Grenelle de l'environnement (268 engagements) et deux lois.

Maintenant il faut analyser la cohérence et la communication avec les autres institutions, et avec...on aurait tendance à l'oublier...avec les citoyens.

En 2008, Jean Louis Borloo annonce le bonus-malus, cependant l'INSEE montre que sous les effets de publicité cette mesure en pratique a augmenté les émissions de CO<sub>2</sub> à court terme<sup>9</sup>, car l'augmentation du parc automobile reste croissante, plus de 37 millions de voitures en 2011. En 60 ans, le nombre de voiture fut multiplié par 15 alors que la population n'a pas doublé. En Suisse, en 2012, le parc automobile était de 5,6 millions de véhicules pour 8 millions d'habitants, un doublement du parc depuis 1980<sup>10</sup>.

En 2009 le conseil constitutionnel censure le projet de la taxe carbone...

Pour comprendre les difficultés à transformer, à réformer un pays en matière d'écologie, regardons d'où nous sommes partis.

Nous sommes partis de la mobilité, capacité d'ouverture au monde, qui a agrandi notre champ d'action, d'interaction et de rétroaction, puisque les structures institutionnelles ont suivi (les accords de libre-échange, les traités de Rome et de Lisbonne, l'espace Schengen...). Ce qui a dilué la visibilité du facteur responsabilité, mais elle a avant tout à travers le facteur économique rendu les pays dépendants. La mobilité capacité à double tranchant.

### *La dépendance*

Dépendant pour sa croissance dont les moteurs sont la consommation et l'industrie, par le choix politique du modèle économique de la France notre mode de vie influe sur le système global, l'environnement et ceci de manière complexe.

L'Etat ne produisant pas sur son sol l'ensemble de ses ressources nécessaires, ne cherchant pas à modifier la structure de son économie et ses moyens de production, cette passivité ou ce choix entraîna de forte interférence dans la politique des « nouveaux » états pour l'accès aux richesses du sol (La géopolitique s'explique bien avec le facteur ressource énergétique).

Les marchés étant devenu mondiaux, l'Etat est souvent devenu un représentant de commerce de ses multinationales. Ces dernières ont pu jouer sur la fiscalité et les normes en vigueur en fonction des pays. Ainsi il n'existe pas de structure approuvée pouvant réguler les entreprises d'échelle internationale. Or il ne faut pas perdre de vue qu'une entreprise n'a pas la ou les mêmes perspectives qu'un Etat et les finalités ne concordent pas.

---

<sup>9</sup> « Le bonus/malus écologique : éléments d'évaluation », Pauline Givord et Xavier d'Haultfoeuille, division Marchés et stratégies d'entreprise, INSEE, janvier 2012.

<sup>10</sup> Selon l'étude annuelle 2012 de l'Office fédéral de la statistique (OFS)

Ainsi il est difficile de revenir sur les industries qui se sont émancipées de l'Etat ou l'on parfois intégré. Les positions hiérarchiques se sont inversées. Le sommet de Rio aurait dû inviter en plus des chefs d'Etats, l'ensemble des PDG des multinationales.

### *L'échelle territoriale et le retour de l'autonomie minimum*

Peut-on avoir un niveau de vie et de consommation similaire de manière différente ou faut-il modifier ou encore restreindre ces derniers pour qu'ils soient « durables » (assurant une qualité environnementale élevée et des inégalités sociales réduites) ? Ou modifier à différents niveaux, partir du consommateur et de la structure dans laquelle il consomme ?

La réponse passe par l'analyse du modèle économique, de la stabilité de son équilibre, et de son domaine d'application. L'échelle territoriale semble une solution prometteuse. Les échanges sont fondamentaux pour l'homme, ce dernier passe plus de 20 % de sa vie rien qu'à parler<sup>11</sup>. Il n'est donc pas question de vivre en autarcie. Mais se rattacher au principe de subsidiarité (présent dans le droit européen).

L'exemple de « Totnes, l'écocité anglaise qui met l'utopie en pratique »<sup>12</sup> montre que la stabilité locale évite les effets de perturbations liées aux interdépendances des économies nationales (crise boursière 2008, répercussions en 2009 crise économique, risque de faillite d'Etat...).

La structure de l'Etat français avec une fiscalité élevée et une administration omniprésente peut être un frein à la rapidité d'entreprendre mais est aussi un amortisseur des fluctuations du marché extérieur.

La réponse passe par l'innovation, mettre l'intelligence au service d'enjeux dont la finalité est l'amélioration de l'autonomie des peuples et la préservation du milieu<sup>13</sup>. C'est ici que l'on se place en explorant les outils d'analyse territoriale. Ainsi l'écoconception, l'écoconstruction, les énergies renouvelables, l'agriculture durable, le capital local, média et commerce indépendants sont des composantes qui interagissent avec cohérence à travers par exemple les SCOTs (Schémas de cohérence territoriale) qui eux seront issus de bureau d'étude ou de direction technique utilisant des outils d'analyse territoriale.

L'activité locale se développant de manière construite, peut non pas limiter les déplacements de manière totalitaire mais les réduire quand ils sont inutiles. Le covoiturage et la location sont les prémices d'une éco-mobilité.

L'éco-mobilité est déjà présente avec les véli'b et autoli'b à Paris, velo'v à Lyon, arrive dans le domaine de la livraison, « Des Cargocycles électriques pour des livraisons en ville ».

Il est clair que le bas coût des énergies non-renouvelables comme le pétrole est à remettre en question, car c'est un facteur explicatif de la banalisation non-régulée du transport.

La politique de régulation de la circulation est un facteur de responsabilisation : Singapour fût précurseur dans le domaine du péage urbain et la taxation de la voiture, dans le cas de cette ville-état ces mesures sont liées non-pas à une politique écologique revendiquée mais à une nécessité d'optimiser la place.

La concrétisation de projet viable comme le ferroutage, exemple d'intermodalité et multimodalité, « Mettre 500 000 camions sur le train et éviter 500 000 tonnes de CO<sub>2</sub> par an : c'est le pari de SNCF pour pousser le train, libérer la route et sauver le climat. »<sup>14</sup>. L'optimisation à l'échelle mondiale passe

<sup>11</sup> « Aux origines du langage » Jean-Louis Dessales. .

<sup>12</sup> *Expansion mars 2012*

<sup>13</sup> Philippe Durance, Michel Godet, Marc Mousli : Libérer l'innovation dans les territoires, La Documentation française, 2010.

<sup>14</sup> Fret SNCF 2010.

par la relocalisation car si la Chine émet autant de CO<sub>2</sub>, c'est qu'elle produit pour l'Europe et les U.S.A.<sup>15</sup>

Afin d'agir, il faut être informé. Depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2011 une expérimentation sur l'étiquetage environnementale est en place, cependant les critères et indicateurs sont laissés au bon vouloir des entreprises qui doivent se reporter à la tendance définie par Afnor-Ademe.

### *L'éducation de pointe liée au territoire*

« Les formations environnementales, allant du CAP à la licence professionnelle, attirent toujours plus d'élèves et étudiants. À la rentrée 2008-2009, ils sont plus de 42 000 à être inscrits en dernière année de formation, soit 4,4 % de l'ensemble des élèves et étudiants » annonce le Service de l'observation et des statistiques du Commissariat général au développement durable. La réponse passe par l'éducation, la création de formations de qualité dans les régions adaptées aux besoins, pérennisant l'initiative.

La question de l'éducation qui, dès la loi Voynet, avait interrogé le Conseil général du génie rural, des eaux et des forêts, sur les perspectives de l'enseignement agricole et territoire, « L'approche territoriale va mettre en jeu des enseignements aussi divers que la géographie, l'économie, l'éducation socioculturelle, les techniques de communication, les enseignements techniques, la biologie et l'écologie... » rapporte Maurice Cestac en 2004. La vision globale d'une activité dans son contexte prenant en compte les interactions de l'un sur l'autre.

La division du travail inévitable ne doit pas en oublier la finalité et le contexte. Rattacher les populations à leur territoire. Avec une politique cohérente entre l'humain, le territoire et les échanges.

### *La politique*

La question n'est plus ce que l'homme peut, car l'ensemble des possibles est grand, mais ce que l'homme veut. Cette question quand elle dépasse ce que l'homme veut pour lui est ce que l'homme veut pour la communauté auxquelles il appartient, cette volonté est exprimable par un choix politique. Le poids de la politique, ce poids impacte la rapidité des changements et les directions prises, la situation énergétique française avec l'énergie nucléaire en est un exemple.

Une décentralisation partielle est de mise, le « 17 mars 2003, ont adopté par 584 voix contre 278 le projet de loi constitutionnelle relatif à l'organisation décentralisée de la République. ».

L'homo-economicus dans un souci de rentabilité à rechercher à faire des économies d'échelle, ce qui à amener les grandes séries industrielles. D'où la nécessité de marchés de plus en plus vastes. Dont la conquête sera facilitée par la baisse des coûts du transport. Insidieusement homo-scalatus, l'homme responsable qui vivait à son échelle se retrouve acteur involontaire d'un jeu à l'échelle mondiale dont il n'est pas en mesure de concevoir et d'assumer sa part de responsabilité. Cependant ce jeu global a des conséquences économiques, environnementales et sociales.

### *L'ingénierie territoriale, Un territoire, Des outils*

Faire un détour par le monde pour inscrire les outils dans la globalité nous a donné les enjeux. Explorer les outils qui permettent de traiter les problématiques de création, dimensionnement organisation, localisation des activités humaines sous contraintes environnementales et sociales nous

---

<sup>15</sup> "The supply chain of CO<sub>2</sub> emissions", Steven J. Davis, Glen P. Peters, and Ken Caldeira  
Department of Global Ecology, Carnegie Institution of Washington, Stanford, CA 94305; and Center for International Climate and Environmental.

semble maintenant une démarche plus cohérente. Créer des outils qui visent à agir sur la structure dans laquelle les déplacements de personnes prennent place, c'est se dire « Nous pouvons jouer sur les motifs qui génèrent des déplacements ».

Ce qui ouvre sur une nouvelle problématique modéliser le territoire et sa dynamique.

### *Le territoire et sa dynamique*

Il semble là encore important de faire un détour mais cette fois-ci par le territoire à travers une question.

Un territoire répond-t-il de manière pérenne et autonome aux besoins du territoire ? Afin d'aborder la question nous devons introduire les composantes suivantes :

Les besoins: L'humain afin de maintenir sa structure a 8 besoins (alimentaire, hydrique, régulation thermique, sommeil, respiration, régulation immunitaire, protection contre un environnement hostile et reproduction). Chaque besoin à deux types de réponse (métabolique et comportementale)

La réponse (comportementale) aux besoins : Elle prend plusieurs formes, sur une échelle continue d'une réponse directe homme-environnement jusqu'à la réponse indirecte homme-société-environnement. Un grand nombre de choix sur des échelles continues vont différencier les formes (du nomade au sédentaire, de l'individu à la société, de l'adaptation au contrôle, du perceptif à l'informatif, du multiples à l'ultra-spécialisation, de l'espace de vie au monde, de l'indépendance à la dépendance, sans technologies contextuelles à l'ultra-technologique, des technologies cognitives représentatives à abstraites, de la logique finie à l'infinie, du linéaire au cyclique,...). L'ensemble des choix ne sont pas des variables indépendantes et par conséquent de petites variations à travers l'évolution spatio-temporelle modifient la structure et l'activité de la réponse au besoin et l'environnement.

Les technologies : Les technologies sont de trois types (cognitive, de communication et transmission, contextuelle (échange, énergétique...)). Leur introduction modifie l'organisation de la réponse aux besoins.

Le territoire : Le territoire sera pour nous un lieu de vie s'étendant au maximum à 10 000 km<sup>2</sup> (100 km\*100 km), il est potentiellement parcourable en mode doux en 24h.

La capacité territoriale : Cette notion définit une contrainte de faisabilité et de pérennité pour les différents besoins pour le périmètre donné.

Le choix du territoire se doit de prendre en compte l'appartenance de ce dernier à des organisations sociétales plus grande en surface et population.

La France et la Suisse : L'organisation sociétale se fait à l'échelle d'un Etat-nation avec une division du travail et des rôles. Elle est obligatoirement informative et abstraite. Les langages sont symboliques non-représentatifs. La réponse aux besoins est monétaire et propriétaire passant par une économie de marché financiarisée intégrée dans un contexte mondial. Le projet sociétal est matérialisé par une constitution. Le décisionnel passe par des structures de gouvernance institutionnelles.

## *Les actions*

Quelles sont les actions touchant au territoire et à la réponse aux besoins de ce dernier ? Comprendre, modéliser, décrire, visualiser, analyser, simuler, planifier, prévoir, construire et gérer des projets, suivre, évaluer, accompagner, fédérer....

Sans avoir autant subdivisé l'exposition du territoire que l'exposition des enjeux, cette rapide introduction montre la nécessité de pouvoir représenter de manière pertinente le territoire tant sa dynamique et sa structure sont potentiellement complexes.

## *Quels sont les outils à notre disposition ?*

Pour chacune des actions et des composantes les fonctionnalités des outils ne sont pas les mêmes. La modélisation spatio-temporelle du territoire couplée à de multiples finalités peut s'appuyer sur des outils méthodologiques, mathématiques et informatiques. Oui mais lesquels ?

## *Réduire pour explorer*

Un travail de deux mois se doit d'aller à l'essentiel, explorer sans se perdre. Pour cela on peut se rattacher à une problématique appliquée qui sera un sujet « excuse » pour partir en voyage.

Un sujet simple avec une problématique avant tout technique :

« **Comment simuler** le comportement de la population d'une ville en matière de mobilité ? Le cas de l'accès de la gare de Morges. »

## *La temporalité des objectifs*

Les enjeux exposés prennent place dans une temporalité séculaire, tout comme l'évolution du territoire.

La création d'outils d'analyse territoriale et de mise en place de politique territoriale est dans une temporalité infiniment plus courte, de l'ordre de la décennie.

Un mémoire d'exploration qui s'inscrit dans l'ensemble (enjeux et création d'outils) a une temporalité de l'ordre du mois.

## *La problématique du mémoire*

« *Comment simuler le comportement* » est une problématique à tiroir. Pour ne pas noyer le lecteur la structure du mémoire doit accompagner l'ouverture de ces tiroirs sans que le contenu mis à jour n'efface de la conscience la problématique.

Nous choisissons de simuler un trajet entre deux points. Un trajet gare-domicile doit être modélisé, implémenté, simulé et représenté.

## *La méthode : une simulation multi-agent*

Nous cherchons comment simuler qu'un type de déplacement, celui vers la gare ou de la gare au domicile.

D'après l'OFS16 environ 14% des actifs ne travaillent pas dans leur zone urbaine.

Si on applique la statistique à Morges soit environ 800. Par conséquent notre simulateur devra gérer au moins 800 déplacements.

Dans le cadre du certificat de géomatique nous avons parcouru les outils de types SIG( ce dernier étant un outil permettant de gérer, de tracer et d'analyser des évènements qui prennent place dans un espace géographique en associant thématiques, système d'information et données géographiques). Nous constatons que les SIG ne sont pas conçus pour gérer le mouvement.

Vers quelle technologie devons-nous nous tourner ? La simulation Multi-agent est la piste. Dans cette simulation nous intégrerons un environnement urbain à partir de données SIG 2D. On ajoutera la 3D par extrusion. L'extrusion qui consiste à considérer une hauteur homogène pour un bâtiment.

### Présentation des technologies choisies

Toutes les technologies ne se valent pas, les comparer selon des critères correspondant à nos besoins nous assure une certaine adéquation avec nos attentes.

#### Comparaison Plateforme SMA

Les plateformes sont des regroupements de technologie ou des logiciels dédiés à la simulation multi-agent. Le critère d'intégration de données SIG est un point important, par conséquent on voit dans le comparatif ci-dessous que JADE n'offre pas la capacité SIG, dans le sens que si on souhaite l'utiliser il nous faudra introduire de nouvelles classes pour la prise en compte des fichiers SIG (Shape, tiff, Dxf, etc...).

Plate-forme	Domaine	License	Système d'opération	Support des usagers	Capacité de SIG
JADE	Applications distribuées composée d'entités autonomes	LGPL	Toute Plateforme Java	Documentation, tutoriaux, API, FAQ.	Non
MadKit	Plate-forme multi-agent avec une couche de simulation agent	GPL, LGPL	JVM (Java 2)	Documentation, forum en ligne, exemples, FAQ.	Oui
Repast	Sciences sociales	BSD	Java version 1.4	Documentation, tutoriaux, exemples, FAQ.	Oui
NetLogo	Sciences sociales et naturelles	GPL	Toute Plateforme Java	Documentation, tutoriaux, extensions pour la troisième partie, FAQ.	Oui
GAMA	Sciences sociales et naturelles	LGPL	Toute Plateforme Java	Documentation, tutoriaux, exemples .	Oui

Figure 1 Source Quoc Tuan NGUYEN<sup>17</sup>

<sup>16</sup> OFS Chiffres clés sur la mobilité en Suisse

<sup>17</sup> Slide du Laboratoire L3I – Université de La Rochelle



## Comparaison Simulateur Mobilité

La recherche est une boucle de rétroaction permanente. Le délai étant de deux mois, je ne pouvais me permettre d'attendre d'avoir fait un état de l'art complet pour commencer l'implémentation. Cependant par la suite, en explorant plus le domaine des laboratoires sur la thématique transport comme le LET à Lyon ou le CERAMA, un colloque sur la thématique « mobilité et SMA » abordait une grande partie des problématiques qui nous intéressent ici, avec une méthodologie pertinente et rigoureuse. Ci-dessous un tableau comparatif des plateformes dédiées transport et SMA.

Existants	Besoins	Prise en charges des scenarios	Modèle de spécification	Granularité de simulation	Technologie de simulation	SIG	Transport multimodal	Stationnement	Point d'attractivités
ARCHISIM		Oui		Microscopique	SMA	Non	Non	Non	Non
MIRO		Oui	UML	Microscopique	SMA	Oui	Non	Non	Oui
MOBISIM		Oui	Ontologie spatiale	Microscopique	AC, SMA	Oui	Non	Non	Non
TRANSIMS		Oui		Microscopique	AC, SMA	Oui	Oui	Non	Non

Figure 5 Source Quoc Tuan NGUYEN

### La modélisation SMA

Bien que des plateformes préconçues existent la encore nous cherchons à comprendre, les technologies nécessaires pour implémenter nous même un simulateur. Car si l'ensemble de la démarche est claire nous pourrons faire des outils vraiment adaptés à nos besoins.

Ces besoins vont jouer un rôle dans la phase de modélisation et par conséquent comme la phase de modélisation est en amont de la phase de simulation, il est important que l'outil de simulation soit compatible avec nos attentes définies dans la modélisation. Ici nous donnons deux outils de modélisation en informatique. Le deuxième la modélisation SMA peut être formalisé en UML.

#### L'UML

L'UML est un standard utilisé dans le génie logiciel, il se compose d'un ensemble de diagramme utile à différentes étapes de la construction d'un logiciel. Il peut être utilisé aussi pour les modèles de données.

#### Modélisation SMA

La modélisation SMA se distingue du fait de la définition d'un agent, l'agent peut percevoir, communiquer, inter agir avec son environnement et d'autres agents ; il est partiellement autonome.

Dans la modélisation on distingue quatre modèles, celui de l'environnement, celui des agents, des interactions et celui de l'organisation. Pour information, par la suite, nous avons implémenté les deux premiers modèles et abordé le troisième dans les compléments.

# Les problématiques et la méthode

## Introduction

### La technique

#### La dynamique

La visualisation des différentes dimensions du territoire donne un support perceptible afin d'appréhender dans la globalité les problématiques inhérentes à la géographie. Cependant une représentation reste bien souvent statique et plane.

**Visualisation 3D** : Reproduire un phénomène tel que nous le voyons ou se basant sur le sens de la vue.

Un territoire est dynamique. Pour retranscrire cette dynamique il est souhaitable d'associer plus de fonctionnalités que ne peut en contenir un SIG. Les systèmes d'information géographiques même muni d'outils d'analyse spatiale puissants se trouvent limités du fait de leur construction. Un SIG étant un outil permettant de gérer, de tracer et d'analyser des événements qui prennent place dans un espace géographique en associant thématiques, système d'information et données géographiques.

**Simuler** : Imiter artificiellement un dispositif.

**Modéliser** : Créer une série de définitions et de règles permettant de reproduire un fonctionnement.

Les outils classiques de la dynamique se trouvent principalement dans quatre domaines (La physique, Les mathématiques, L'informatique, Le cinéma et l'animation). Partant de ces domaines nous allons explorer l'ensemble des possibles pour recréer un territoire dynamique pour examiner ce que l'analyse spatiale classique permet difficilement.

### La thématique

#### La mobilité

Des dynamiques particulières sont le transport et la mobilité. Du fait de leur intime lien avec la thématique énergétique, le transport et la mobilité est un sujet d'actualité qui occupe nombre de laboratoire de recherche (Les trajets domicile-travail ou domicile-étude, les 'commuters', les Transit Oriented Development, la planification du transport, les 'supply chains'...).

Quelles sont les causes qui génèrent du déplacement des personnes? Les principaux motifs sont le travail et la formation, les loisirs et les achats.

D'après l'office de la statistique et l'étude du micro recensement mobilité et transport 2010 :

- une personne suisse parcourt en moyenne 36 Km par jour
- la tranche d'âge des 25-44 ans effectue une distance annuelle de 26 200 Km

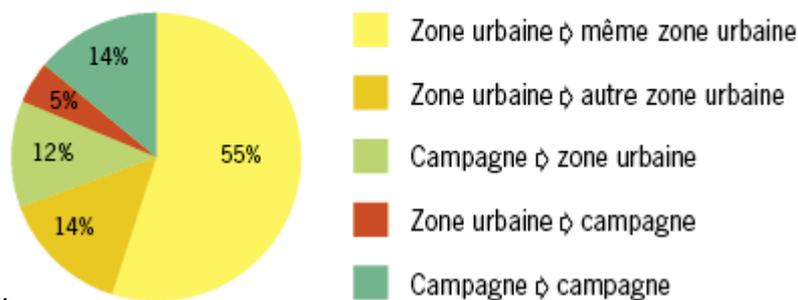
- la part du transport motorisé est de 66%.

Au-delà de la dépendance à l'énergie pétrolière et des impacts environnementaux (santé inclus) liés aux déplacements motorisés que ce soit la pollution sonore, atmosphérique, émission de gaz à effets de serre, augmentation des risques d'accidents, fracture urbanistique, les déplacements posent la question de la localisation des activités.

Le diagramme ci-dessous issu de l'étude « mobilité et transport 2010 » décrit les proportions de déplacement selon une typologie.

### Flux de pendulaires, en 2011

Personnes actives occupées selon le départ et l'arrivée du trajet de travail



Pour le motif travail nous pouvons le voir sur ce graphique ci-dessus, 14% de la population active ne travaille pas sur sa commune ou sur sa zone urbaine d'habitation.

*Comment simuler le comportement de la population d'une ville en matière de mobilité ?*

*Si nous prenons le cas d'une ville comme Morges de 15000 habitants avec un taux d'actif moyen en Suisse de 60% de la population nous arrivons à 9000 personnes actives et donc potentiellement pendulaires. Simuler autant de déplacements n'est pas simple, si l'on souhaite qu'ils soient représentatifs des comportements observés.*

*D'abord il nous faut des concepts pour cadrer la thématique mobilité car les questions peuvent être nombreuses :*

- *Combien de temps faut-il pour aller du domicile à la gare ?*
- *Quel moyen de déplacement utiliser ?*
- *Quel chemin pour y accéder ?*
- *Quel coût l'usage d'un moyen de déplacement implique ?*
- *Si on utilise tel moyen, est-ce qu'à destination les aménagements sont compatibles ?*

*La notion d'**Accessibilité** est introduite. L'accessibilité est une notion multidimensionnelle qui peut prendre en compte:*

- *La dimension **Spatiale** en termes de distance (les distances à vols d'oiseau, les distances réelles en tronçons de réseau...).*
- *La dimension **Temporelle** en termes de temps (Temps porte à porte, en fonction du mode de déplacement, en fonction du trafic en temps réel, période de vacances...).*
- *La dimension **Economique** en termes de coût (du prix du carburant, du prix de l'abonnement de transport, du prix du stationnement...).*
- *La dimension **Modale** en termes de mode (possession d'un véhicule motorisé, possession d'un abonnement, existence de parking vélo à la gare...)*

*Les notions de :*

- **Modes de déplacement.** *Chaque mode à des caractéristiques différentes (un vélo n'émet pas de gaz à effet de serre, une vitesse généralement comprise en 10 km/h et 35 km/h en ville.)*
- **Aménagement.** *La prise en compte du mode par des aménagements joue sur le comportement.*
- **Comportement.** *L'ensemble des choix de mobilité dépend de l'habitant et de son environnement. Ainsi la notion qui prend en compte l'échelle de l'habitant est le comportement.*

*Le comportement est une résultante complexe chez les êtres munis d'une mémoire et d'une faculté associative et projective. On souhaite qu'un habitant :*

- *Perçoive son environnement*
- *Aie une part d'autonomie*
- *Puisse interagir avec son environnement*
- *Puisse se déplacer vers un objectif*

### La simulation

Avec la simulation urbaine plusieurs questions se posent :

- Une première question est celle de l'intégration de données géographiques dans la simulation et comment transformer les entités décrites par ces données en agents afin de permettre une évolution dynamique.
- La seconde question est la représentation et la modélisation spatiale. Quels espaces, outils mathématiques et informatiques peuvent être utilisés pour décrire la ville, son réseau ? (visualiser le territoire en 3 dimensions).
- La troisième question est comment modéliser des comportements et l'interaction avec l'environnement dans une simulation.

### La complexité et limites

Aussi vu les délais<sup>18</sup> de l'exercice que constitue le mémoire, comment réduire la complexité car la mobilité englobe :

- Les comportements en fonction de la localisation et en fonction de la disponibilité des technologies de transports en milieu urbain
- La question du choix modal dépendra de la distance réseau (en tps et km) de la gare par rapport aux habitations, de la possession de mode de transports et du coût tarifaire des taxis et transports publics ainsi que des aménagements du réseau ou à proximité de la gare que ce soit un parking à vélo ou un parking voiture et du trafic...de la charge à transporter
- Nous avons aussi plusieurs agents mobiles (les habitants qui sont des piétons, les voitures individuelles, les taxis, les vélos, les transports en commun)
- Le territoire est composé d'habitations et d'un réseau (les intersections, les feux de signalisation, les tronçons à plusieurs voies, les stations bus, taxi...) et d'une gare, d'habitation, de lieu de travail et d'étude, de magasins...

Le niveau d'organisation peut varier et l'on peut rentrer dans une multitude d'échelles qui augmente encore la complexité de l'objet modélisé.

---

<sup>18</sup> 2 mois

### *La problématique réduite*

*Dans le cadre de la dynamique nous nous recentrons sur la mobilité journalière des personnes actives ne travaillant pas dans leur zone urbaine. Nous prenons l'hypothèse que le choix modal est ferroviaire.*

*Nous ne prenons qu'un type de déplacement, celui vers la gare. D'après le diagramme présent dans la partie thématique mobilité environ 14% des actifs ne travaillent pas dans leur zone urbaine soit pour Morges environ 800 personnes (l'approximation est grossière voire non réaliste, de plus ces 800 hypothétiques personnes ne prennent pas toutes le train mais plutôt leur véhicule personnel cependant on est sur un ordre de grandeur plausible de personne pouvant prendre le train).*

## **La méthode**

### **Etat de l'art des technologies**

Nous ferons un état de l'art des technologies de simulations qui ne sera pas formalisé intégralement dans ce mémoire. Cet état de l'art gardera à l'esprit la problématique de l'intégration de données géographiques, la gestion de la visualisation 3D et la programmation orientée simulation.

### **Données et choix de la localité**

En parallèle, il sera nécessaire de choisir une localisation pour laquelle nous avons accès à un minimum de données. Puis nous ferons une modélisation du territoire orienté mobilité.

### **Traitement des données et hypothèses simplificatrices**

Des hypothèses simples seront prises du fait des données à disposition car rendre par exemple le réseau multivoies avec de la signalétique demande un traitement en amont excessivement conséquent.

La réalisation de l'environnement urbain se fera à partir de données SIG 2D. On ajoutera la 3D par extrusion. L'extrusion qui consiste à considérer une hauteur homogène pour un bâtiment.

### **Modélisation territoriale**

Définir et représenter les acteurs et leurs actions.

### **Choix des technologies et implémentation**

Après le choix des technologies viendra la phase d'implémentation. Savoir à l'avance demande un minimum d'expérience. Cette étape peut évoluer au cours de la recherche.

### **Un scénario de simulation**

Ensuite nous définirons un scénario de mobilité. Par exemple :

Les habitants sont à la gare et ils doivent rentrer chez eux par le réseau ou inversement. Le sujet est simple mais les problèmes techniques sont à prévoir en grande quantité du fait que l'état de l'art des technologies à disposition reste à faire.

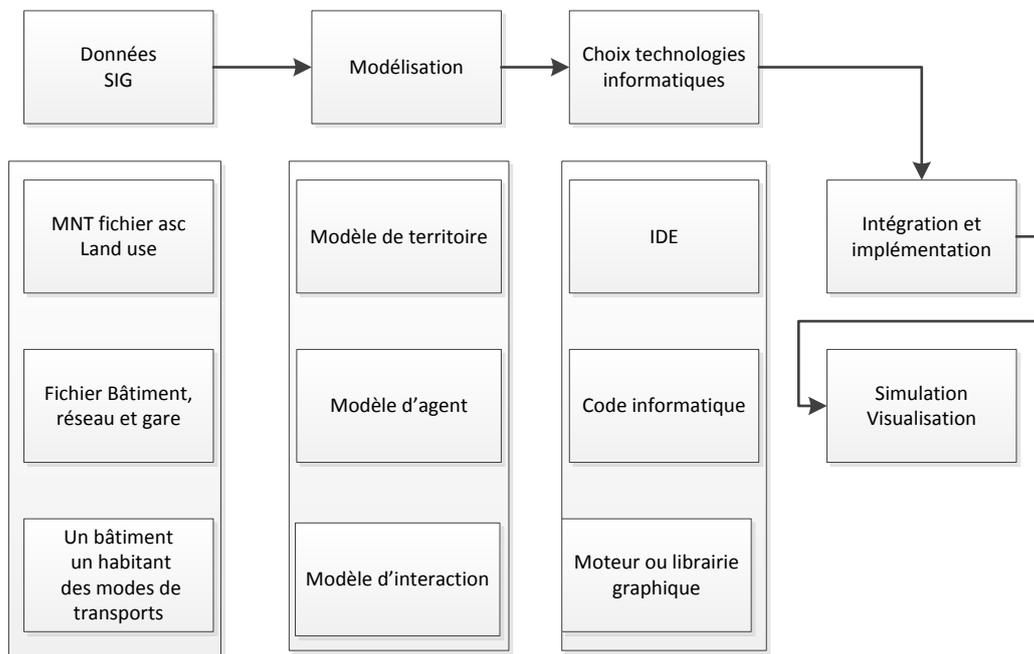


Figure 1 Récapitulatif de la démarche

# Les données et localité

## Les inputs

La question de la collecte des données pose plusieurs questions. La question des sources, la question de l'accessibilité et des autorisations éventuelles, la question du format, la question de leur fiabilité, la question de la précision et/ou finesse, la question des attributs.

Nos données d'entrée doivent être cohérentes et avoir le même système de coordonnées.

## Le système de référence CH1903

CH1903 utilise l'ellipsoïde de Bessel (1841). Le système de projection suisse est une projection cylindrique à axe oblique.

## La population

### Le recensement

Source	Les données de recensement de population nous seront fournies par l'Office fédéral de la statistique.
L'accès	nous est simplifié grâce à l'unige qui a centralisées les données sur un serveur
Le format	geodatabase (format ESRI)
Nom du fichier	che.gs.recensement de population
Finesse et précision	100*100 l'hectare, point centroïde
Métadonnée	<a href="http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/dienstleistungen/geostat/datenbeschreibung/volks-gebäude-0.html">http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/dienstleistungen/geostat/datenbeschreibung/volks-gebäude-0.html</a>
Attribut	
Xpoint	X_KOORD Coordonnée hectométrique X (6 positions)
Ypoint	Y_KOORD Coordonnée hectométrique Y (6 positions)
Popu à l'hectare	B12BTOT Population résidente permanente, Total

### Les bâtiments d'habitation

Source	Swisstopo
L'accès	serveur unige
Format	geodatabase
Nom du fichier	ch.st.geb (batiment de population)
Métadonnée	<a href="http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/fr/home/products/landscape/vector25.parsysrelated1.47641.downloadList.55322.DownloadFile.t">http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/fr/home/products/landscape/vector25.parsysrelated1.47641.downloadList.55322.DownloadFile.t</a>



	<a href="mp/vector25infofr.pdf">mp/vector25infofr.pdf</a>
ObjectVal	Z_Gebaeude Bâtiment / Maison isolée

Donnée additionnelle :

Z_Station Station / Arrêt des transports publics
--

### Transport

#### Le réseau routier

Source	swisstopo
L'accès	serveur unige
Format	shp
Nom du fichier	ch.st.str_25_l (objectVal jointure metadata)
Métadonnée	<a href="http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/fr/home/products/landscape/vector25.parsysrelated1.47641.downloadList.55322.DownloadFile.t">http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/fr/home/products/landscape/vector25.parsysrelated1.47641.downloadList.55322.DownloadFile.t</a> <a href="mp/vector25infofr.pdf">mp/vector25infofr.pdf</a>
Attribut	ObjectVal=Type de route F_node T_node Length

#### Le réseau ferroviaire

Source	swisstopo
L'accès	serveur unige
Format	shp
Nom du fichier	ch.st.eis_25_l (str_bhof)
Métadonnée	<a href="http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/fr/home/products/landscape/vector25.parsysrelated1.47641.downloadList.55322.DownloadFile.t">http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/fr/home/products/landscape/vector25.parsysrelated1.47641.downloadList.55322.DownloadFile.t</a> <a href="mp/vector25infofr.pdf">mp/vector25infofr.pdf</a>

### gare

Source	swisstopo
Nom du fichier	ch.st.geb (batiment)
Nom du fichier	ch.st.eis_25_l (str_bhof)
Nom du fichier	ch.st.anl

*La gare est une catégorie de bâtiment*

*landuse*

*Le land use pourra servir plus tard*

<i>Nom du fichier</i>	<i>ch.st.pri</i>
-----------------------	------------------

*Le cadastre et division administrative commune*

<i>source</i>	<i>Geostat</i>
<i>Nom du fichier</i>	<i>Ch.gs.g1g06</i>

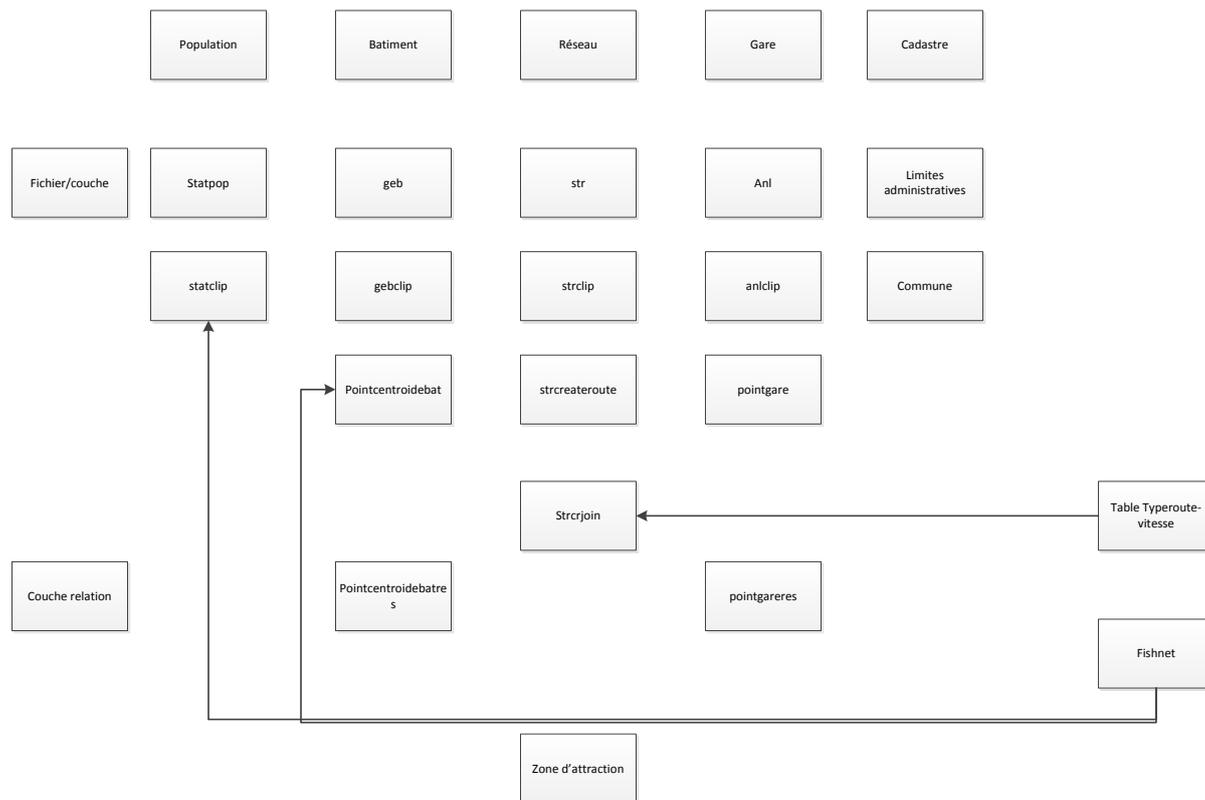
# Les traitements des données

## Les traitements

L'exploitation de données demande de manière quasi-systématique un prétraitement des données reçues ou acquises.

Dans le cas de cette recherche, nous nous appuyons sur un document dédié à cette tâche (Le document de géo programmation).

Ci-dessous un schéma récapitulatif et un tableau illustre les différents traitements et données générées.



Population	Bâtiment popu	Réseau	Gare	Cadastre
Statpop	Geb	Str	Anl	Suisse
statpopclip	Gebclip	Strclip	anclip	commune
	Gebpoint	Strclipcreatearoute	anclippointgare	
	Gebpointplus attribut	Strclipcreatearoute attribut vitesse		
		networkdataset		

Pop batiment	Batiment-reseau	Table typeroutevitesse	gareres	Add
jointure	gebpointres		anclippointgareres	Table
				fishnet

# La modélisation

## Modélisation des objets

Dans cette partie nous faisons une modélisation idéaliste que nous adapterons lors de l'implémentation.

### Les objets géographiques et la géométrie

Quels sont les objets de notre outil et comment les modéliser ?

A priori et dans le délai imparti pour la réalisation de cet outil nous prendrons des hypothèses simples.

Notre outil touche à la localisation d'une activité et son attraction spatiale dans un temps donné.

- L'espace géographique sera modélisé par un volume sans courbure, muni d'un système de coordonnées.
- La gare sera un polyèdre.
- La localisation de la population sera des polyèdres.
- Les bâtiments d'habitation seront des polyèdres.
- Le réseau sera des lignes et des points.

### Les relations géométriques entre les objets.

#### Relation gare-réseau

On peut supposer que la gare étant un polyèdre elle a plusieurs entrées, chacune de ces entrées sera un point du réseau.

#### Relation habitation-réseau

Si la localisation de la population est un point et que le point correspond à un bâtiment codé par une adresse un point de connexion réseaux sera créé. On pourrait par la suite joindre le point bâtiment et le point projeté sur le réseau.

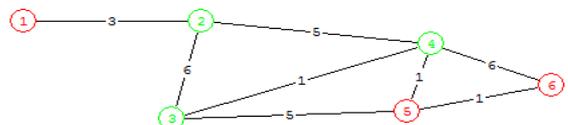
Si la localisation de la population est un point et que le point correspond au centre d'un maillage ou carroyage, il faut faire des hypothèses. Soit distribuer de manière homogène la population au bâtiment contenu dans ce maillage, soit projeter une perpendiculaire vers chaque ligne du réseau contenu dans le carroyage et lui associé un point.

### Modèle de réseau

#### Modélisation du réseau

Le réseau peut être vu comme un graphe

Un graphe est composé de nœuds et d'arrêtes, un nœud particulier est la racine, c'est le nœud de départ de l'exploration.



*La racine est la gare, les intersections des rues sont les nœuds. On les munit d'un identifiant, d'un état et d'une ou plusieurs listes. Les rues sont les arrêtes ; on les munit d'un identifiant, d'un sens, de deux nœuds sommets et d'un ou plusieurs paramètre.*

*En complément, on a une matrice de relation, une matrice d'adjacence, des listes de nœuds successeurs.*

## La modélisation des agents

La modélisation des agents demande de faire une distinction. Une distinction liée à notre hypothèse sur la temporalité prise en compte pour la simulation. Nous simulons un trajet, une échelle de temps entre 0 et 45 min.

Par conséquent la forme de la ville n'évolue pas, le réseau non plus ou en tout cas pas de manière significative. Nous distinguerons donc les agents environnementaux des agents mobiles.

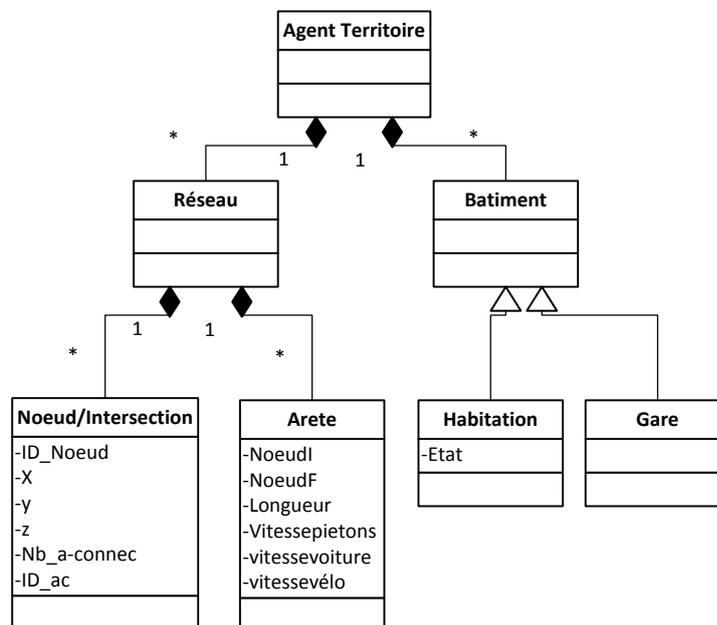
## Les agents environnementaux

### Le réseau

La question qui se pose est celle des éléments en jeu pour la dynamique dans un réseau. Nous l'avons vu plus haut de manière basique, un réseau est la combinaison de nœuds et d'arrêtes.

Les nœuds doivent avoir un identifiant, des coordonnées géographiques, un nombre d'arrêtes connectées et l'ID des arrêtes connectées. Nous laisserons de côté la question du sens de circulation.

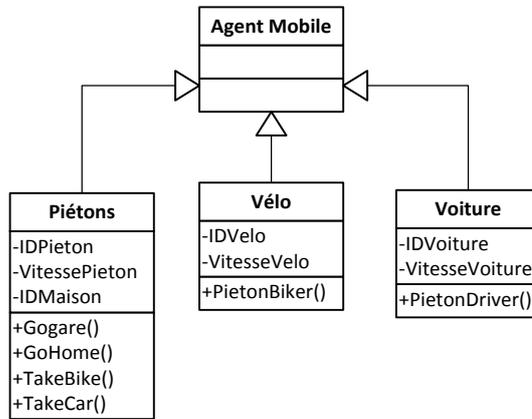
Les arrêtes posent la question de la vitesse sur le tronçon. Pour l'instant, on fait l'hypothèse que la vitesse est propre aux acteurs se déplaçant, mais en cas de modifications vers plus de réalisme on ajoute un attribut type de route (autoroute, type1, type2...)



## Les agents mobiles

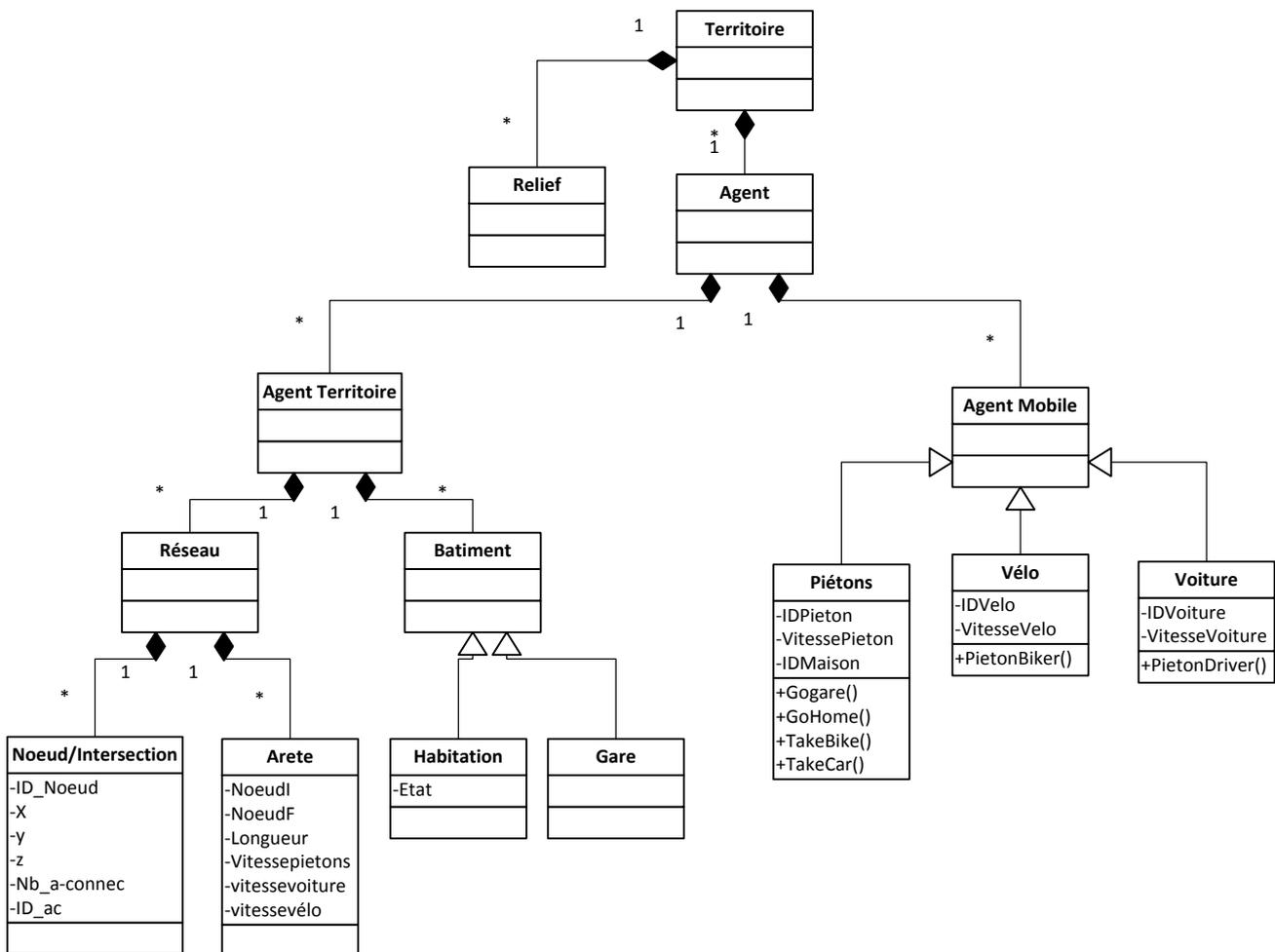
Les modes de circulation sont des agents comme :

- Les habitants qui peuvent se déplacer sur le réseau à une vitesse VP (Vitesse Piéton)
- Le vélo qui peut se déplacer sur le réseau à une vitesse VVE (Vitesse VElo)
- Les voitures qui peuvent se déplacer sur le réseau à une vitesse VVO (Vitesse Voiture)



## La modélisation du territoire

Le territoire a un relief et les agents



Sur ce schéma ne sont pas présents les liens de dépendances.

# Architecture et technologie

## Choix des technologies et architecture

Le choix du langage de programmation dépend des bibliothèques existantes si l'on souhaite coder en java une bibliothèque agent est disponible (JADE) et une bibliothèque graphique 3D OpenGL ou java3D.

Ensuite un environnement de développement complet multi-console facilitant la programmation est utile pour la gestion de l'implémentation par exemple eclipse.

GAMA réunit l'ensemble des caractéristiques (codé en java, bibliothèque agents et possède des bibliothèques de connexion de fichiers Shape). Par contre, cela demande l'apprentissage du GAML qui semble être basé sur du XML ou Xtext (du moins dans ses premières versions).

## Introduction au GAML GIS and Agent Modelling Language

Dans cette partie nous introduisons l'essentiel pour pouvoir user du GAML.

### Structure

Le GAML implique la structure de fichier suivante ;

```
model nomdumodel

global {
  init {
    create agent number: nbrdagent;
  }
}
```

```
species nomagent {
  string type;
  int nomvar;
}

species nomagent1 {
}

species nomagent2 {
  aspect nomvar ou base {
    draw circle() color: rgb();
  }
}
```

```
experiment nom experience type: gui {
  output {
    display nom {
      species agent aspect: nomvar;
    }
  }
}
```

## Intégration de fichier SIG

Ils seront contenus dans un type de variable, la variable 'file' qui nécessite un chemin d'accès.

```
file #NomVarFichier# <- file('../Chemin');
```

Une variable 'geometry' permet de donner les limites des couches.

```
geometry shape <- envelope(shape_file_lim);
```

### Exemple

Dans un premier temps l'on souhaite intégrer les fichiers Shape. Ils seront nos variables globales.

```
file shape_file_bat <- file('../includes/Morges_batiments.shp');  
file shape_file_batpointreso <- file('../includes/lienbatiroute.shp');  
file shape_file_route <- file('../includes/Formatreso.shp');  
file shape_file_gare <- file('../includes/Morges_Gare.shp');  
file shape_file_garereso <- file('../includes/garepointreso.shp');  
file shape_file_lim <- file('../includes/geb_25_a_Clip.shp');  
  
geometry shape <- envelope(shape_file_lim);
```

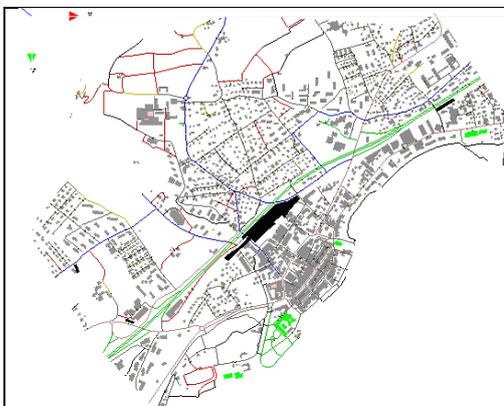


Figure 2: Vue aérienne de Morges

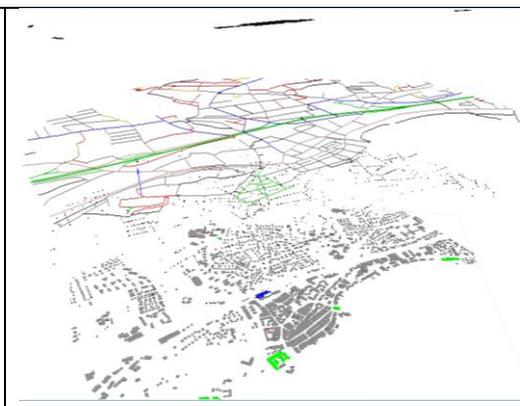


Figure 3: Vue des couches

## Déclaration agent

La déclaration d'une espèce d'agent se fait à partir du mot clé « species » un équivalent du mot class

```
species #NomAgent {  
    int #;  
    string #;  
    rgb #;  
}
```

La gestion de la représentation visuelle de l'agent est définie par le mot clé « aspect »

```
aspect base {
    draw shape color: color depth: h;
}
```

#### Déclaration reflex

Un reflex est une action qui s'exécute à chaque pas de la simulation

#### Déclaration d'action

L'action est l'équivalent de la méthode dans la programmation objet, soit ce que peut faire l'agent

#### Déclaration de graphes

Une variable 'graph' est déclaré en perspective de créer un réseau

```
graph road_network;
```

#### L'initialisation

La création d'agent à partir de fichier SIG se fait dans l'étape d'initialisation. Avec les mots clés « create, from, with »

```
create buildingreso from: shape_file_batpointreso;
```

#### Paramètre

Dans une expérience avec le mot clé « gui » (graphic user interface) on peut demander le choix des fichiers à l'utilisateur.

```
experiment Morgesville type: gui {
    parameter 'Shapefile for the buildings:' var: shape_file_bat category:
'GIS' ;
```

#### Visualisation

Avec le mot clé « display », on gère l'affichage de l'expérience. Le mot clé « type » permet le choix de la librairie graphique par exemple.

```
output {
    display city_display refresh_every: 1 type:opengl {
        species building aspect: base ;
    }
}
```

- ▲  Morges
  - ▷  doc
  - ▷  images
  - ▷  includes
  - ▷  models

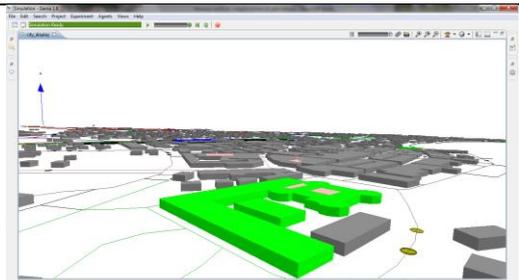
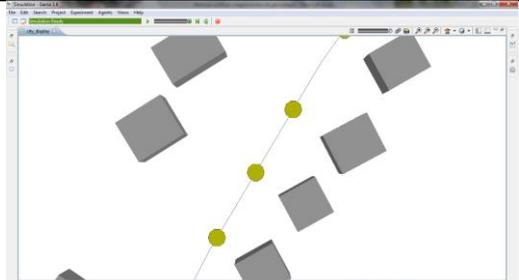
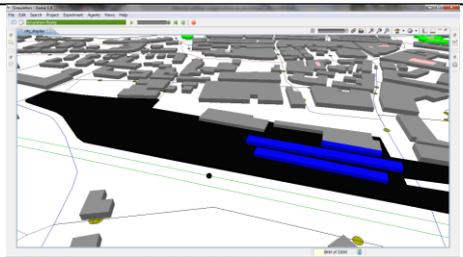
# Implémentation

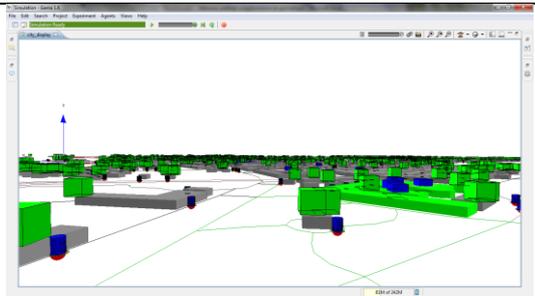
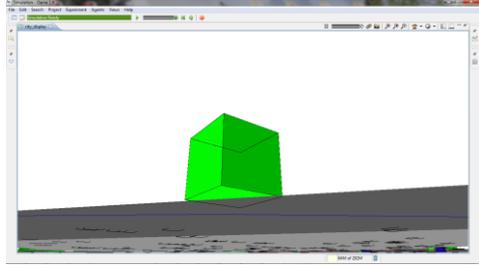
## Implémentation

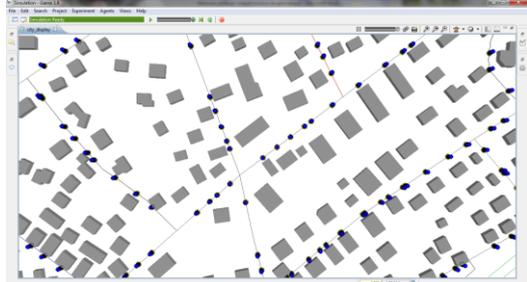
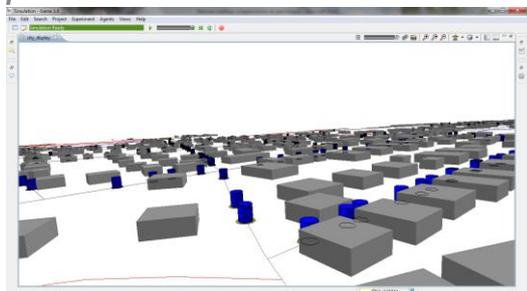
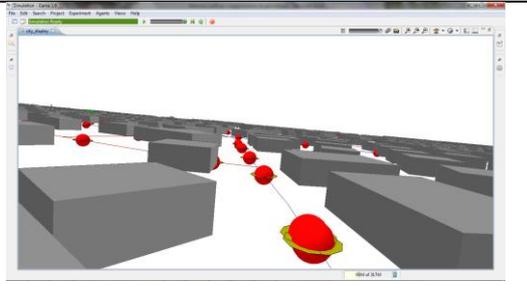
Après cette rapide présentation de GAMA on peut implémenter notre environnement en commençant par la ville. Sachant que nos fichiers Shape sont en 2D, nous ferons une extrusion en introduisant la variable *h* (hauteur) lors de la déclaration des agents bâtiments.

## Les agents

Dans notre cas l'ensemble des éléments sont des agents.

Nom	Code	Visualisation
<p>Les bâtiments.</p> <p>D'abord on déclare les bâtiments. On cherche à les visualiser en 3D ainsi une variable hauteur ou <i>h</i> nous permettra l'extrusion. Ainsi dans la variable <i>aspect</i> qui définit la représentation de l'agent on utilisera le paramètre 'depth'.</p>	<pre>species building {   int h &lt;- 5;   string type;   rgb color &lt;-   rgb('yellow') ;   aspect base   {     draw     shape color: color     depth: h;   } }</pre>	 <p>Figure 4: Agent Bâtiment</p>
<p>Les relations bâtiments-réseau.</p> <p>Dans le cas où nous n'aurions pas de données sur le stationnement, on simplifie en plaçant le véhicule de l'habitant sur ce point.</p>	<pre>species buildingreso {   string type;   rgb color &lt;-   rgb('yellow') ;   aspect base   {     draw     shape color: color ;   } }</pre>	 <p>Figure 5 Agent Connexion Bâtiment réseau</p>
<p>Les gares.</p> <p>La gare sera l'objectif de nos piétons.</p>	<pre>species gare{   int h&lt;-2;   rgb color &lt;-   rgb('black') ;   aspect base   {     draw     shape color: color     depth: h ;} }</pre>	 <p>Figure 6 Agent Gare et gare réseau</p>

	<pre> } </pre>	
<p>Les relations gares-réseau. La gare possède potentiellement plusieurs accès.</p>	<pre> species gareso{     int h&lt;-2;     rgb color &lt;- rgb('black') ;     aspect base {         draw shape color: color depth: h ;} } </pre>	
<p>Le réseau. Il y a différent types de voies. On peut mettre une couleur pour chaque type.</p>	<pre> species road {     string type;     rgb color &lt;- rgb('black') ;     aspect base {         draw shape color: color ; } } </pre>	 <p>Figure 7: Cube = Piétons Sphère=voiture Cylindre=vélo</p>
<p>Les habitants. Nos habitants doivent pouvoir se déplacer vers un objectif ainsi ils seront munis de la capacité "moving"</p>	<pre> species people skills:[moving]{     string 'IDBAT';     float speed &lt;- 1.0 + rnd(1);     point target;     reflex move {         do goto target:target on: road_network;      }     aspect circle{         draw cube(10) color: rgb("green"); }} </pre>	 <p>Figure 8: Piétons sous forme de cube</p>

<p><i>Les vélos (optionnels)</i></p>	<pre> <b>species</b> bike <b>skills</b>: [moving]{   float speed &lt;- 3.0 + rnd(3);   point target;    reflex move {     do goto <b>target</b>: target on: road_network;     if (location = target) {       target &lt;- any_location_in(one_of( building));     }   }   aspect circle{     draw cylinder(2,5) color: rgb("blue");   } } </pre>	 <p><i>Figure 9 Agent Vélo sur réseau au point connexion</i></p>  <p><i>Figure 10 Vue perspective</i></p>
<p><i>Les voitures (optionnelles)</i></p>	<pre> <b>species</b> car <b>skills</b>: [moving]{   float speed &lt;- 3.0 + rnd(3);   point target;   reflex move {     do goto <b>target</b>: target on: road_network;     if (location = target) {       target &lt;- any_location_in(one_of( building));     }   }   aspect circle{     draw sphere(2) color: rgb("red");   }} } </pre>	 <p><i>Figure 11 Agent Voiture</i></p>

# Les expériences

Les prérequis pour pouvoir simuler étant acquis maintenant nous nous concentrons sur les scénarios de simulation.

## Résultats Expérience Gare Domicile People DOM

Le premier cas peut être vu comme un retour d'un trajet pendulaire d'habitant travaillant à l'extérieur de Morges.

La localisation initiale des agents est par conséquent la gare. Ils ont comme objectif le retour à leur domicile en utilisant le réseau. Le choix du chemin est fait à l'aide de l'algorithme de Dijkstra.

Pour illustrer nous mettons ici quelques captures d'écran à différents stades.

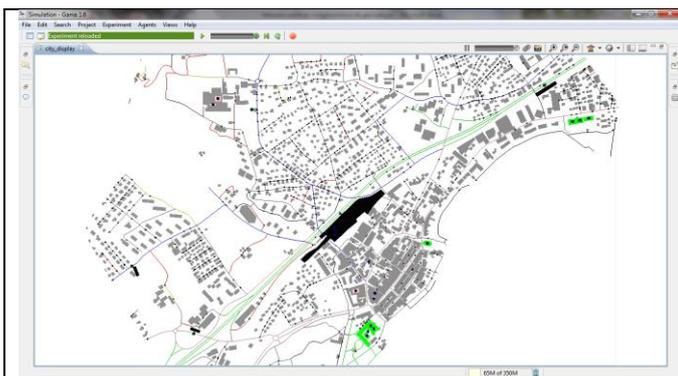


Figure 12 Initialisation Exp1

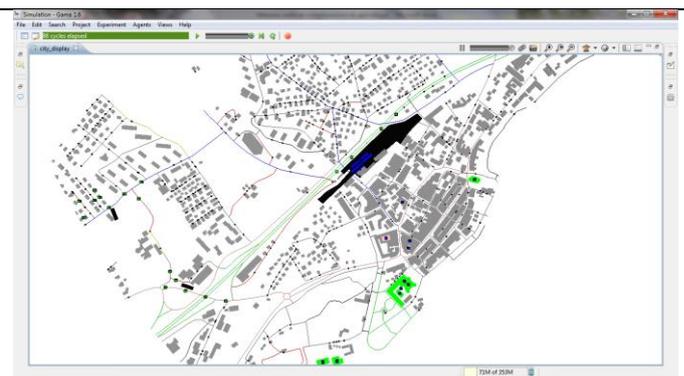


Figure 13: Les agents partent sur le réseau



Figure 14: Agent jaune une fois dans les bâtiments en moins de 400 cycles

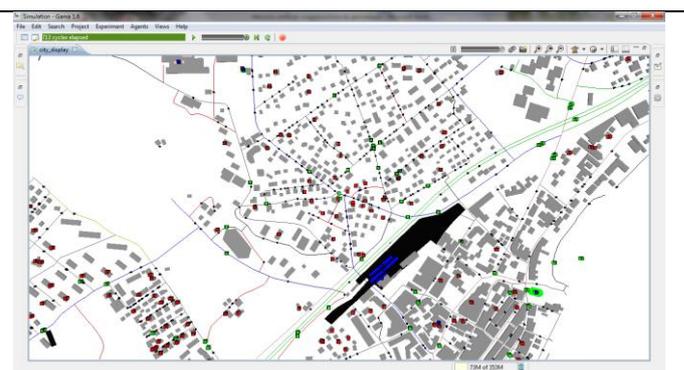


Figure 15 Zone rouge après 600 cycles

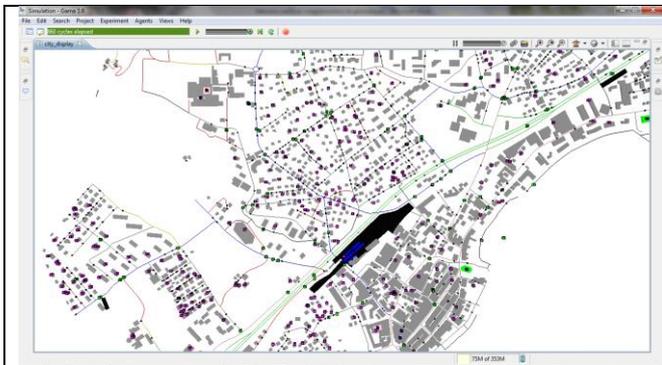


Figure 16: zone violette après 800 cycles



Figure 17: Zone magenta après 1000 cycles

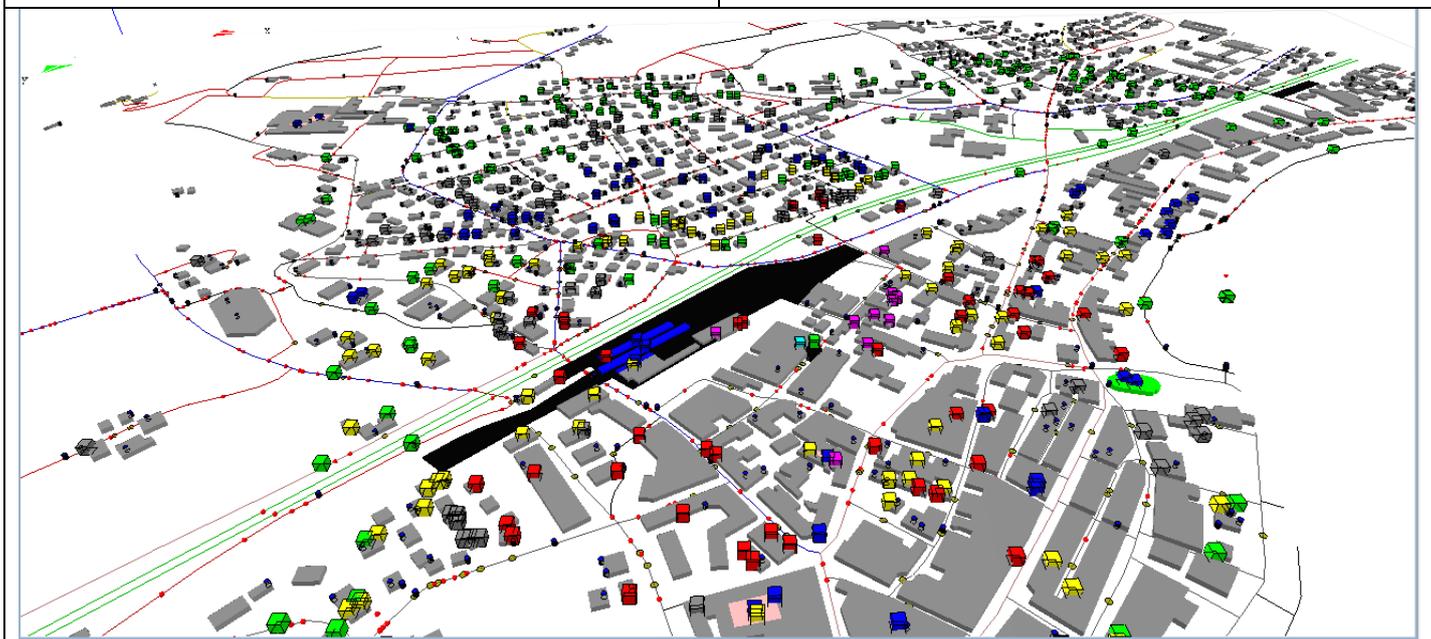


Figure 18 Multizone

*Pour donner plus de lisibilité à la simulation les habitants changent de couleur en fonction du temps passé. On distingue ainsi sur la figure ci-dessus la formation de plusieurs zones.*

*Les zones sont ainsi définies à l'habitation. Un résultat que nous pouvons comparer avec l'output des zones de chalandise de « Network Analyst ».*

### **Résultat Expérience Domicile Gare**

*Le deuxième scénario est la situation inverse. La localisation initiale des habitants est leur domicile et ils doivent rejoindre la gare par le réseau.*

*On peut ainsi comptabiliser le nombre de cycles de simulation pour atteindre la gare. Dans notre cas il a fallu 2175 cycles pour que l'ensemble des agents piétons arrive à la gare.*

*Pour illustrer ci-dessous se trouve quelques captures d'écran.*

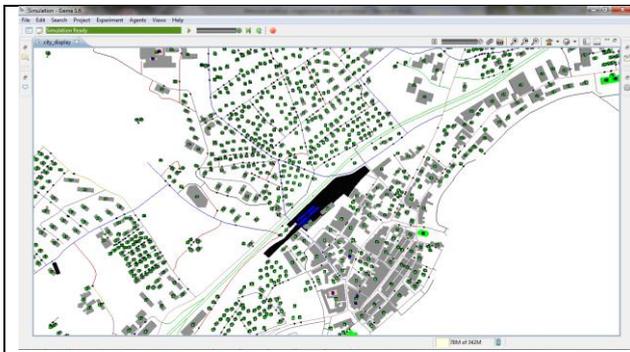


Figure 19: Initialisation EXP2

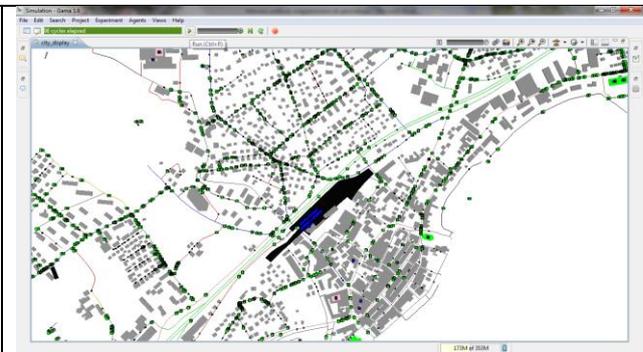


Figure 20 Agents piétons sur le réseau

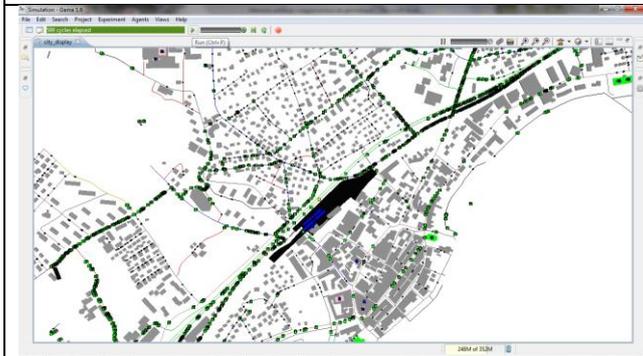


Figure 21: Concentration des agents vers les gares

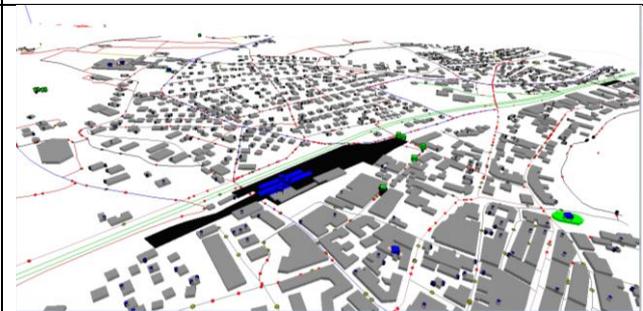


Figure 22 Fin de simulation

# Compléments

Dans cette partie nous précisons que le GAML est un langage en cours de développement et par conséquent il existe des bugs non-corrigés mais surtout une documentation en cours de rédaction ainsi certaines parties des fonctionnalités du code ne sont pas documentées.

L'objectif initial est partiellement réalisé, la réduction de la complexité à deux scénarii nous a permis de nous concentrer sur les outils.

Cependant on est loin d'une simulation qui fasse sens par rapport à l'observation. Ainsi il semble utile de considérer certaines améliorations.

La première qui vient à l'idée est l'inter modalité. Ce qui revient à ajouter des interactions avec le vélo ou la voiture.

## Implémentation des interactions piétons vélo

Le comportement intermodal piéton-vélo peut être résumé à ceci (le langage des phrases suivantes ne respecte pas la grammaire conventionnelle):

- Un vélo doit pouvoir contenir un piéton. Donc ajout d'une variable liste à l'agent vélo.

On lui ajoute une action qui consiste à accepter un piéton. Soit la liste passe de null à un piéton.

- Un piéton doit pouvoir prendre un vélo. On lui ajoute une variable booléenne sur vélo = 0 ou 1.

Le piéton demande au vélo si il peut monter si liste pleine alors non sinon do accept people.

La fonction accept people implémente la liste, l'agent vélo récupère la target du piéton, le piéton à la localisation du vélo.

## Implémentation des interactions piétons voiture

Pour les voitures même principe plus liste de 5 places piétons.

Bien sûr il serait envisageable d'intégrer le réseau de transport en commun avec les aménagements inhérents.

La deuxième idée est la signalisation. La principale activité lors d'un déplacement est l'observation de la signalisation. Que ce soit les feux tricolores pour des raisons de sécurité et les panneaux de direction pour choisir son chemin.

### La signalisation

La question des données fût de nouveau posée et la ville de Morges par l'intermédiaire de Ludovic Gauthier nous a fourni un fichier DXF (la signalisation autour de la gare).

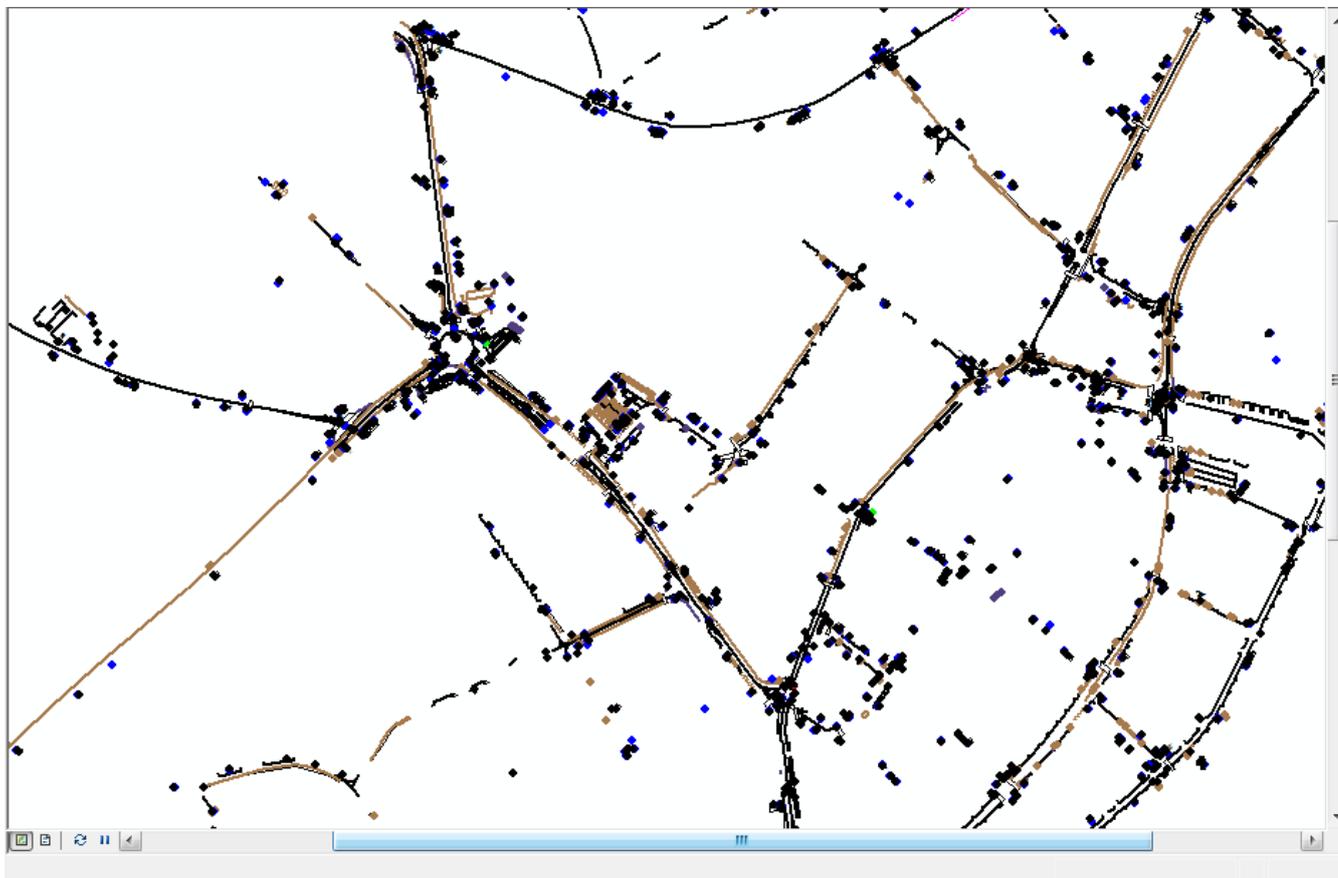


Figure 23 Fichier Signalisation DXF Police Région Morges (limité pour raison de sécurité)

L'introduction de ce fichier remet en question le dimensionnement de l'outil car jusqu'à maintenant la simulation était en mesure de tourner sur un ordinateur muni d'un processeur performant et une carte graphique avec mémoire dédiée.

Cependant la signalisation avec plus de 3000 objets demande une nouvelle réflexion sur l'architecture du projet.

# Conclusion et ouverture

*La problématique du comment est traitée, par contre la problématique de l'analyse ne l'est pas encore.*

## *La possibilité*

*L'état des technologies actuelles permet sans nul doute de simuler un réseau de transport à partir de données SIG et de le visualiser en 3D.*

*Par contre la complexité thématique et la complexité technique font de cette approche, un chemin difficile à parcourir.*

*Le choix des technologies nous a permis une certaine flexibilité en prenant le risque de la fiabilité du fait de son jeune et toujours actuel développement.*

*Le domaine modélisé devant prendre en compte le comportement des personnes est un domaine en soi. Cependant ceci nous donne une première expérience, une idée de ce que nous pouvons faire.*

*La visualisation de la simulation me semble un point non négligeable pour la compréhension de phénomène. Ici l'on peut trouver une ouverture vers la création d'indicateurs ou de tableaux de bord.*

*Les potentialités d'amélioration sont immenses tant au niveau technique que thématique.*

*Un point important me semble la possibilité de modifier la localisation des activités et de simuler les conséquences.*

## *La valorisation de la 3D*

*La 3D dans le cas de notre problématique fût malheureusement qu'un atout esthétique mais elle ne doit pas être considérée dans cette perspective.*

*Pour la simulation du bruit urbain, la propagation des ondes est tridimensionnelle. Ces ondes subiront de l'absorption et des réflexions. Pour le climat, le rayonnement solaire peut aussi être vu de manière ondulatoire dans un espace tridimensionnel. Pour la mobilité, la pente induit un frottement. Tous ont besoin d'un environnement 3D.*

*Une simulation SMA dans un environnement muni d'un moteur physique 3D, peut être une nouvelle étape.*





Motesharrei, Safa, Jorge Rivas, and Eugenia Kalnay. "Human and Nature Dynamics (HANDY): Modeling Inequality and Use of Resources in the Collapse or Sustainability of Societies." *Ecological Economics* 101 (2014): 90–102.

Seppacher, Pascal. "Pour Une Macroéconomie Monétaire Dynamique et Complexe," 2013. <http://www.ofce.sciences-po.fr/pdf-articles/actu/seminaire19-04-16.pdf>.

"Un Modèle Macroéconomique Multi-Agents Avec Monnaie Endogène," 2009. <http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00370716/>.

Smaï, Farid. "Développement D'outils Mathématiques et Numériques Pour L'évaluation Du Concept de Stockage Géologique." Université Claude Bernard-Lyon I, 2009. <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00463607/>.

Taillandier, Patrick, and Alexis Drogoul. "From GIS Data to GIS Agents, Modeling with the GAMA Simulation Platform." In *Technical Forum Group on Agent and Multi-Agent-Based Simulation: 1st Meeting Collocated with Eumas, Vol. 10*, 2010. [http://www.researchgate.net/publication/234734545\\_From\\_GIS\\_Data\\_to\\_GIS\\_Agents\\_Modeling\\_with\\_the\\_GAMA\\_simulation\\_platform/file/32bfe50fff3056bd2e.pdf](http://www.researchgate.net/publication/234734545_From_GIS_Data_to_GIS_Agents_Modeling_with_the_GAMA_simulation_platform/file/32bfe50fff3056bd2e.pdf).

Urbani, Dominique. "Elaboration D'une Approche Hybride SMA-SIG Pour La Définition D'un Système D'aide À La Décision; Application À La Gestion de L'eau." Université Pascal Paoli, 2006. <http://hal.archives-ouvertes.fr/tel-00136106/>.

**OFS, l'étude du micro recensement mobilité et transport 2010**

## Table des figures

Figure 1: Vue aérienne de Morges .....	30
Figure 2: Vue des couches.....	30
Figure 3: Agent Bâtiment.....	33
Figure 4 Agent Connexion Batiment réseau .....	33
Figure 5 Agent Gare et gare réseau .....	33
Figure 6: Cube = Piétons Sphère=voiture Cylindre=vélo .....	34
Figure 7: Piétons sous forme de cube.....	34
Figure 8 Agent Vélo sur réseau au point connexion.....	35
Figure 9 Vue perspective.....	35
Figure 10 Agent Voiture.....	35
Figure 11 Initialisation Exp1.....	36
Figure 12: Les agents partent sur le réseau .....	36
Figure 13: Agent jaune une fois dans les bâtiments en moins de 400 cycles .....	36
Figure 14 Zone rouge après 600 cycles.....	36
Figure 15: zone violette après 800 cycles .....	37
Figure 16: Zone magenta après 1000 cycles.....	37
Figure 17 Multizone.....	37
Figure 18: Initialisation EXP2 .....	38
Figure 19 Agents piétons sur le réseau.....	38
Figure 20: Concentration des agents vers les gares.....	38
Figure 21 Fin de simulation.....	38

**La ville de Morges**

```
/**
 * Laville
 * Author: RB
 * Description:

model Laville

/* Insert your model definition here */

global {

    file shape_file_bat <- file('../includes/Morges_batiments.shp');
    file shape_file_batpointreso <-file('../includes/lienbatiROUTE.shp');
    file shape_file_route <- file('../includes/Formatreso.shp');
    file shape_file_gare <- file('../includes/Morges_Gare.shp');
    file shape_file_garereso <- file('../includes/garepointreso.shp');
    file shape_file_gareunireso <- file('../includes/GAREUNIPOINT.shp');
    file shape_file_lim <- file('../includes/geb_25_a_Clip.shp');
    geometry shape <- envelope(shape_file_lim);
    graph road_network;
    int day_time update: int(time);

    //initialisation environnement et agent
    init {

        //initialisation batiment
        create building from: shape_file_bat with: [type::string(read
('objectval')),IDBAT::int(read('geb_id'))] {
            if type='Z_Gebaeude' {color <- rgb('gray') ;}
            if type='Z_Innenhof' {color <- rgb('pink');}
            if type='Z_Perron' {color<- rgb('blue');}
            if type='Z_Kirche' {color<-rgb('green');}
            if type='Z_Treibhaus' {color<-rgb('green');}
            if type='Z_Schloss' {color<-rgb('green');}
            if type='Z_WBecken' {color<-rgb('green');}
        }
        create buildingreso from: shape_file_batpointreso;

        //initialisation réso
        create road from: shape_file_route with: [type::string(read ('objectval'))] {
            if type='Q_Klass' {color <- rgb('gray') ;}
            if type='1_Klass' {color <- rgb('pink');}
            if type='2_Klass' {color<- rgb('blue');}
            if type='3_Klass' {color<-rgb('yellow');}
            if type='4_Klass' {color<-rgb('red');}
            if type='5_Klass' {color<-rgb('black');}
            if type='6_Klass' {color<-rgb('black');}
            if type='Autobahn' {color<-rgb('green');}
            if type='Ein_Ausf' {color<-rgb('green');}
            if type='Parkweg' {color<-rgb('green');}
        }
        //réseau=graph
        road_network <- as_edge_graph(road);
        create gare from: shape_file_gare;
        create gareso from: shape_file_garereso;
```

```

    create garesouni from: shape_file_gareunireso;

}

entities {
//les batiments
species building skills:[communicating] {
    int IDBAT;
    int h <- 5;
    string type;
    rgb color ;
    aspect base {
        draw shape color: color depth: h;
    }
}

species buildingreso {
    string type;
    rgb color <- rgb('yellow') ;
    aspect base {
        draw shape color: color ;
    }
}

//la gare
species gare{
    int h<-2;
    rgb color <- rgb('black') ;
    aspect base {
        draw shape color: color depth: h ;}
}

species gareso{
    int h<-2;
    rgb color <- rgb('black') ;
    aspect base {
        draw shape color: color depth: h ;}
}

}

species garesouni{
    int h<-10;
    rgb color <- rgb('black') ;
    aspect base {
        draw shape color: color depth: h ;}
}

//le reseau
species road {
    string type;
    rgb color <- rgb('black') ;
    aspect base {
        draw shape color: color ;
    }
}
}}

```

```
/**
 * Transport
 * Author: RB
 * Description:
 */

model Transport

import "../models/Laville.gaml"

/* Insert your model definition here */
global{
  init{
    //initialisation voiture
    create car from: shape_file_batpointreso {
      location <- any_location_in(one_of(buildingreso)) ;
      target <- any_location_in(one_of(building));
    }

    //initialisation vélo
    create bike from: shape_file_batpointreso {
      location <- any_location_in(one_of(buildingreso)) ;
      target <- any_location_in(one_of(building));
    }
  }
}

species bike skills:[moving,communicating]{
float speed <- 3.0 + rnd(3);
point target;
bool charge;
list va0;
int a;

reflex inita {
  va0 <-agents_at_distance(0.01);
  a <- length(va0);
}

reflex move when: a>0 {
  do goto target:target on: road_network;
  if (location = target) {
    target <- any_location_in(one_of(building));
  }
}
aspect circle{
  draw cylinder(2,5) color: rgb("blue");
}
}

species car skills:[moving,communicating]{
float speed <- 3.0 + rnd(3);
point target;
reflex move {
  do goto target:target on: road_network;
  if (location = target) {
    target <- any_location_in(one_of(building));
  }
}
```

```

}
aspect circle{
  draw sphere(2) color: rgb("red");
}}

```

## Les Piétons vers domiciles

```

/**
 * People
 * Author: RB
 * Description:
 */
model People
import "../models/Laville.gaml"
import "../models/Transport.gaml"
/* Insert your model definition here */

global{

init{
  create people from: shape_file_bat with: [type::string(read
('objectval')))]{
    if type='Z_Gebaeude'{color <-rgb('green');
    garesouni init_place <- one_of(garesouni);
    location <- any_location_in(init_place) add_z init_place.h;
    target <- any_location_in(one_of(building));}
    else{color<-rgb('blue');}
  }
}}
species people skills:[moving,communicating]{
  string type;
  rgb color;
  float val;
  int a;
  float speed <- 1.0 + rnd(1);
  point target;
  reflex move {
    do goto target:target on: road_network;
    if (location = target ) {
      //color <-rgb('yellow');
      a<-a+1;
    }
  }
  if (a>100) { color <-rgb('gray');}
  if (a>200) { color <-rgb('blue');}
  if (a>300) {color <-rgb('yellow');}
  if (a>400) {color <-rgb('red');}
  if (a>500) {color <-rgb('magenta');}
  if (a>600) { color <-rgb('cyan');}
}

  reflex checkmode{

}
  aspect circle{
    draw cube(10) ;
  }
}

```

## Annexe Implémentation des expériences

### Expérience Gare Domicile

```
model GareDom

import "../models/Laville.gaml"
import "../models/Transport.gaml"
import "../models/PeopleDom.gaml"

global{}
experiment GareDom type: gui {
  parameter 'Shapefile for the buildings:' var: shape_file_bat category: 'GIS' ;
  parameter 'Shapefile for the roads:' var: shape_file_route category: 'GIS' ;
  parameter 'Shapefile for the station:' var: shape_file_gare category: 'GIS';
  parameter 'Shapefile for the bounds:' var: shape_file_lim category: 'GIS' ;
  output {
    display city_display refresh_every: 1 type:opengl {
      species building aspect: base ;
      species buildingreso aspect: base ;
      species road aspect: base ;
      species gare aspect: base;
      species gareso aspect: base;
      species garesouni aspect: base;
      species people aspect:circle;
      species car aspect:circle;
      species bike aspect: circle;

      /*graphics 'Morgesville' {
        draw dem(DEM, texture,0.1);}
      graphics 'Morgesville' {
        draw dem(DEM, DEM,0.1);
      }*/
    }
  }
}
```

### Expérience Domicile Gare

```
/**
 * DomGare
 * Author: RB
 * Description:
 */

model DomGare

import "../models/Laville.gaml"
import "../models/Transport.gaml"
import "../models/PeopleGare.gaml"

global{}

experiment DomGare type: gui {
  parameter 'Shapefile for the buildings:' var: shape_file_bat category: 'GIS' ;
```

```
parameter 'Shapefile for the roads:' var: shape_file_route category: 'GIS' ;
parameter 'Shapefile for the station:' var: shape_file_gare category: 'GIS';
parameter 'Shapefile for the bounds:' var: shape_file_lim category: 'GIS' ;
output {
  display city_display refresh_every: 1 type:opengl {
    species building aspect: base ;
    species buildingreso aspect: base ;
    species road aspect: base ;
    species gare aspect: base;
    species gareso aspect: base;
    species garesouni aspect: base;
    species people aspect:circle;
    species car aspect:circle;
    species bike aspect: circle;

  }}
}
```

<b>REMERCIEMENT</b>	<b>1</b>
<b>RESUME</b>	<b>2</b>
<b>SOMMAIRE</b>	<b>3</b>
<b>INTRODUCTION</b>	<b>14</b>
La technique	14
La thématique	14
<b>PROBLEMATIQUE THEMATIQUE</b>	<b>16</b>
<b>PROBLEMATIQUE TECHNIQUE</b>	<b>17</b>
La simulation	17
La complexité	17
<b>LA PROBLEMATIQUE REDUITE</b>	<b>18</b>
<b>LA METHODE</b>	<b>19</b>
Etat de l'art des technologies	19
Données et choix de la localité	19
Traitement des données et hypothèses simplificatrices	19
Modélisation territoriale	19
Choix des technologies et implémentation	19
Un scénario de simulation	19
<b>LES INPUTS</b>	<b>21</b>
Le système de référence CH1903	21
La population	21
Le recensement	21
Les bâtiments d'habitation	21
Transport	22



Le réseau routier	22
Le réseau ferroviaire	22
<b>gare</b>	<b>22</b>
<b>landuse</b>	<b>23</b>
<b>Le cadastre et division administrative</b>	<b>23</b>
<b>LES TRAITEMENTS</b>	<b>24</b>
<b>MODELISATION DES OBJETS</b>	<b>25</b>
<b>Les objets géographiques et la géométrie</b>	<b>25</b>
<b>Les relations géométriques entre les objets.</b>	<b>25</b>
Relation gare-réseau	25
Relation habitation-réseau	25
<b>Modèle de réseau</b>	<b>25</b>
Modélisation du réseau	25
<b>LA MODELISATION DES AGENTS</b>	<b>27</b>
<b>Les agents environnementaux</b>	<b>27</b>
Le réseau	27
<b>Les agents mobiles</b>	<b>27</b>
<b>LA MODELISATION DU TERRITOIRE</b>	<b>28</b>
<b>CHOIX DES TECHNOLOGIES ET ARCHITECTURE</b>	<b>29</b>
<b>INTRODUCTION AU GAML GIS AND AGENT MODELLING LANGUAGE</b>	<b>29</b>
<b>Structure</b>	<b>29</b>
<b>Intégration de fichier SIG</b>	<b>30</b>
Exemple	30
<b>Déclaration agent</b>	<b>30</b>
<b>Déclaration reflex</b>	<b>31</b>
<b>Déclaration d'action</b>	<b>31</b>
<b>Déclaration de graphes</b>	<b>31</b>
<b>L'initialisation</b>	<b>31</b>

Paramètre	31
Visualisation	31
Architecture fichier Eclipse	32
<b>IMPLEMENTATION</b>	<b>33</b>
Les agents	33
Résultats Expérience Gare Domicile People DOM	36
Résultat Expérience Domicile Gare	37
<b>IMPLEMENTATION DES INTERACTIONS PIETONS VELO</b>	<b>39</b>
<b>IMPLEMENTATION DES INTERACTIONS PIETONS VOITURE</b>	<b>39</b>
<b>LA SIGNALISATION</b>	<b>40</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE ANNEXE</b>	<b>42</b>
<b>TABLE DES FIGURES</b>	<b>44</b>
<b>ANNEXE : IMPLEMENTATION</b>	<b>45</b>
La ville de Morges	45
Les transports	47
Les Piétons vers domiciles	48
<b>ANNEXE IMPLEMENTATION DES EXPERIENCES</b>	<b>49</b>
Expérience Gare Domicile	49
Expérience Domicile Gare	49
<b>ANNEXE : TABLE DES MATIERES</b>	<b>51</b>