

# RÉSEAU D'ACCÈS ET ACCESSIBILITÉ : MODÉLISATION INFORMATIQUE ET AIDE À LA PRISE DE DÉCISION EN AMÉNAGEMENT

**Alain TOURET (1, 2), Pierre DUMOLARD (2)**

(1) Laboratoire Forme et Intelligence Artificielle, Université de Paris 6

(2) LAMA, Institut de Géographie Alpine, Université de Grenoble I

Université Joseph Fourier

17, rue Maurice Gignoux

38031 Grenoble cedex

Tél : 76 51 41 17

Fax : 76 87 82 43

## Résumé

Les SIG «raster» sont particulièrement adaptés à l'analyse, la modélisation et la simulation spatiales. Il est donc intéressant d'y intégrer des fonctions utiles dans cette optique. Parmi celles qui sont possibles, la mesure de l'accessibilité sur un espace nous semble fondamentale.

Pour construire le module correspondant, nous avons utilisé l'approche «multi-agents» (I.A. connexioniste) et programmé en langage orienté objet C++, ce qui permet l'intégration au SIG GRASS, lui même écrit en C.

## Mots Clés

Accessibilité - Réseau - Système d'information géographique - Système multi-agents

Cet article a un double objectif.

En premier lieu, nous étudierons un problème géographique. Il s'agira d'évaluer l'impact potentiel de l'évolution du réseau routier sur la périurbanisation. Nous nous baserons sur les aménagements routiers prévus entre Grenoble et Sisteron. Nous nous concentrerons sur le concept d'accessibilité, défini comme l'évaluation du coût d'accès à tout lieu en fonction de la circulation sur le réseau.

En second lieu, nous introduirons le domaine de l'Intelligence Artificielle. Nous tenterons de définir les concepts de «connaissance» et de «représentation» d'un point de vue général, avec l'espoir de faire sentir intuitivement quelques difficultés et limites en matière de modélisation, tout en proposant des repères de réflexion pour orienter ce travail.

Enfin nous présenterons la solution informatique choisie pour calculer l'accessibilité. Elle est basée sur les systèmes multi-agents en Intelligence Artificielle, que nous allons présenter dans cet article. L'opérateur spatial résultant sera ajouté à un SIG raster : GRASS.

## 1. Les aménagements routiers entre Grenoble et Sisteron

La modification du réseau routier modifie l'accessibilité réelle des lieux desservis ainsi que les capacités d'échanges entre ces lieux. Ceci se répercute sur l'organisation de l'espace avec un temps de latence variable. L'accessibilité provoque un changement tendanciel des localisations en périurbain.

Notre étude ne porte pas sur une analyse du phénomène de périurbanisation mais prépare l'évaluation du risque de périurbanisation. Le calcul de ce risque utilisera les hypothèses suivantes :

- continuité de l'évolution urbaine ; les mêmes conditions entraînant les mêmes tendances, nous utiliserons les statistiques sur les tendances observées dans le passé pour évaluer le risque final ;

– évolution du périurbain en fonction de l'accessibilité au centre attracteur (effet réseau) et de la proximité de centre secondaire (effet tache d'huile).

Nous nous attachons ici à trouver un moyen de prendre en compte l'effet de la structure du réseau routier dans les calculs de risque de périurbanisation. Nous utiliserons un modèle de calcul d'accessibilité.

## Etat des lieux

L'agglomération grenobloise est située à la jonction de 3 vallées disposées en Y. Surtout développée au nord, zone mieux desservie par le réseau routier, elle demeure faiblement urbanisée au sud.

Dans cette zone on observe :

- les routes majeures, N75 et N85, au trafic non fluide,
- un relief plus marqué,
- des industries à risque, de type Seveso,
- des zones non bâtissables, notamment la plaine de captage en eau potable.

## Hypothèses d'évolution

Un projet d'aménagement du réseau routier vers Sisteron vise :

- à désenclaver l'agglomération Grenobloise,
- à favoriser le développement de la vallée sud,
- à désengorger l'autoroute A7 (Paris-Lyon-Marseille) en absorbant une partie de son trafic.

Quatre hypothèses ont été envisagées :

- 1) pas de modification,
- 2) passage à 3 ou 4 voies de la RN 75,
- 3) passage à 3 ou 4 voies de la RN 85 (par GAP),
- 4) construction du premier tronçon de l'autoroute A51 Grenoble-Sisteron.

## Evaluation des conséquences

En l'absence de plan d'urbanisation, les communes peu développées rendues plus accessibles risquent de devenir des cités dortoirs satellites de Grenoble. L'homogénéité du développement économique et industriel et la préservation des paysages de la région desservie incitent à évaluer le risque de périurbanisation pour en limiter les effets indésirables.

La calcul de ce risque nécessite une évaluation de l'impact de la structure du réseau d'accès sur les possibilités de circulation, ce que donne une carte d'accessibilité. Ce facteur rend explicite pour un SIG le résultat de la circulation sur le réseau en fonction sa structure.

Comme la circulation diffère selon que l'on se déplace sur une autoroute, une route à plusieurs voies, une départementale, un pont... nous avons choisi de réaliser un nouvel opérateur spatial pour calculer l'accessibilité de manière à prendre en compte la complexité de la circulation sur le réseau routier. Le résultat sera une carte exhaustive du coût d'accès pour chaque lieu à partir d'un point de départ.

Avant d'aborder la réalisation de ce module, nous allons présenter la modélisation informatique du problème.

## 2. La modélisation informatique

L'intelligence artificielle (IA) est un domaine de convergence de sciences de la cognition : neurosciences, philosophie, psychologie cognitive, logique... L'informatique y participe et propose des modèles pour traiter et représenter la connaissance.

L'IA établit des modèles pour traiter des problèmes où la complexité est rendue explicite. L'informatique ne se limite plus au quantitatif et aux données homogènes, mais elle traite des informations qualitatives, hétérogènes et "bruitées". L'IA propose souvent plusieurs solutions pour un seul problème, alimentées par des métaphores du monde réel. Par exemple, elle aborde le domaine de l'apprentissage par :

- les réseaux connexionistes (neurosciences), par compilation de multiples exemples,
- la logique (philosophie), par généralisation d'exemples types et de contre exemples,
- les algorithmes génétiques (biologie cellulaire), par sélection d'individus «mutants» selon leur qualité d'adaptation aux contraintes.

## **Connaissance et représentation du monde**

### **Qu'entend-on par «connaissance» ?**

#### **Proposition de définition**

K est une connaissance sur X si on peut abstraire K de X selon un filtre F (le regard porté).

#### **Propriétés**

##### ***non identité***

la connaissance n'est pas l'objet, aucun ensemble de connaissances, si grand soit-il, n'est l'objet.

##### ***subjectivité***

la connaissance est le résultat de la traduction active du vécu de l'observateur par lui-même, elle dépend de son attitude, elle est subjective, partielle, orientée, personnelle.

##### ***superficialité***

la connaissance est une facette subjective de l'expérimenté, elle est non explicative ; un ensemble de ces facettes est une image, qui constitue pour nous notre représentation du monde.

### **Représentation et explication du monde**

Expliquer le monde consiste pour nous à relier ces facettes entre elles par des relations «d'explication» sémantique (liées au sens).

Personnelles autant que nos connaissances, ces relations sémantiques dépendent de notre attitude et des outils employés à leur élaboration : logiques, analogiques, émotionnels. Notre explication est donc une thèse sur le réel, elle n'a rien de réel mais tout de construit, elle incorpore nos intentions, peurs, désirs et croyances.

Si établir le vrai est inaccessible dans l'absolu, limiter les incohérences dans notre relativité reste possible. Cependant, l'information ainsi épurée n'en devient pas «plus vraie», puisqu'elle n'a pas puissance de vérité, elle acquiert au mieux plus de puissance de description de l'observé.

«Le monde que nous voyons est-il le monde, ou le monde que nous voyons ?» (Umberto Maturana). Nous confondons nos perceptions avec leur interprétation, et donc le monde et notre interprétation de notre expérience du monde. Nous croyons que notre représentation du monde *est* le monde.

### **Qu'est-ce que représenter ?**

La représentation est la mise en correspondance du signifiant et du signifié. Le signifiant signifie le signifié. Le signifiant est de l'ordre du conventionnel, le signifié de l'ordre du phénomène. Représenter, c'est adopter une convention pour signifier un phénomène.

#### **Représentation de la connaissance en informatique**

Voici divers modes de représentation de la connaissance en informatique :

##### **par l'association code-valeur**

Nombre\_d\_éléphants = 4, (signifiant)

phénomène représenté : «les éléphants sont au nombre de 4». (signifié)

##### **par ensemble de codes (apparition de structure, données complexes)**

éléphant = { pattes, oreilles, trompe, âge }

réseaux sémantiques (ensemble structuré d'associations de symboles et de valeurs)

##### **par système de codes (aspect dynamique intrinsèque)**

éléphant + { comportements }

réseau connexioniste (connaissance = configuration globale stable d'un ensemble de cellules numériques interconnectées)

##### **par proposition**

une action est une connaissance dynamique,

action représentée par un programme,  
état fournit par les données,  
la structure du modèle par les relations entre les données.

### Qu'est-ce que traiter de la connaissance ?

La définition varie selon le point de vue de chaque discipline. Pour les neurosciences, c'est une circulation d'influx électrique ; pour la logique, c'est la manipulation d'équations logiques, de façon syntaxique ou sémantique ; pour l'informatique, c'est utiliser une information dans un référentiel à la fois statique (correspondances sémantiques entre objets) et dynamique (manipulation).

### Le sens

Le sens qu'un objet a pour nous est lié à l'ensemble des interactions que nous pouvons avoir avec lui. Représenter un objet n'a de sens, que si dans notre représentation nous explicitions son sens, c'est à dire si nous modélisons ses interactions avec le système où il s'inscrit.

L'interprétation des résultats doit prendre en compte :

- les biais du modèle (négligences volontaires de phénomènes) ;
- l'imprécision des données (qualité sémantique, fiabilité des données) ;
- les faiblesses du traitement (limites algorithmiques).

## 3. Le modèle de calcul de l'accessibilité

Nous utilisons un système multi-agents. C'est un ensemble d'individus (ex : voitures) ayant chacun un état interne propre (ex : temps de parcours), caractérisés par leurs comportements, et leurs interactions, pouvant se déplacer sur un terrain muni d'une topologie.

Les forces du modèle sont les suivantes : l'espace est structuré, peuplé d'individus en interaction, qui peuvent traiter de l'information symbolique et numérique,

### *Les types de systèmes multi-agents*

- **cognitif** (à base de traitement de connaissance)

les agents agissent en fonction des connaissances qu'ils possèdent ;

#### *avantages*

les agents peuvent avoir des capacités d'expertise ;

#### *désavantages*

lenteur d'action, difficultés de représentation de la connaissance, de traitement et de communication d'informations complexes,

- **réactif** (basé sur des réactions)

avec un minimum voire pas du tout de connaissance, où les agents agissent en fonction des sollicitations extérieures ;

#### *avantages*

rapidité d'action, adaptabilité naturelle aux cas non prévus ;

#### *désavantages*

réactions stéréotypées non optimisables.

Dans la pratique, un minimum de connaissance est nécessaire, ainsi que des capacités réactives.

### *Représentation de l'espace*

carte raster du réseau routier,

table donnant : 1) le type des pixels      2) le coût de circulation,

carte du coût d'accès minimal à chaque lieu

Les agents partagent tous la même représentation de l'espace : ils voient et interprètent leurs perceptions de manière identique. Ils se déplacent de proche en proche sur les pixels en fonction de :

- la relation de passage entre les types des pixels, présentée plus loin,
- du coût que l'on cherche à minimiser.

Le coût est cumulé et marqué durant la diffusion par chaque agent.

### Les types des pixels

Les types doivent-ils être à l'image de l'énumération des objets visibles sur la carte (carrefours, largeur de la chaussée, limites de communes) ? Jusqu'où faut-il détailler l'information sémantique qu'ils contiennent ?

Comme notre problème s'articule autour du phénomène de la diffusion des agents, les types des pixels doivent être *représentatifs* des objets (routes, espaces naturels) *en fonction* de la circulation. Les types catégorisent les lieux en fonction de leurs relations de communication.

Enumérons les types :

- espace urbanisé : bâti sillonné de voies non distinguées ;
- routes : voie carrossable, échangeur autoroutier, tronçon autoroutier ;
- espace naturel ou cultivé ;
- obstacles à la diffusion : réseau hydrographique, ravin ;
- combineurs : pont, tunnel définis comme la superposition de deux pixels.

### Relations de passage entre pixels

Il est possible de résumer dans une matrice les relations de passage entre les pixels en fonction de leurs types. La présence d'un numéro indique que la diffusion est possible, mais éventuellement conditionnée par la satisfaction de conditions supplémentaires.

de / vers	Naturel	Espace urbain	Obstacle	Voie	Echangeur	Autoroute	Pont
Naturel	2	2					3
Espace urbain	2	2		2	2		3
Obstacle							
Voie	2	2		2	2		3
Echangeur		2		2	2	2	3
Autoroute					2	2	3
Pont	4	4		4	4	4	5

#### Conditions supplémentaires

- 2 : minimisation du coût d'accès au pixel suivant
- 3 : le pixel précédant le pont doit être également présent sur ou sous le pont
- 4 : contrainte 2 + le pont doit être précédé d'un pixel de même numéro
- 5 : idem 3

### Barrière à la diffusion diagonale

Dans le cas où la diffusion se fait *diagonalement*, entre des pixels attenants par un coin, se pose le problème spécifique, inexistant dans la diffusion latérale, de la diffusion diagonale concurrente prioritaire. La diffusion peut être permise sur le pixel ciblé, de par le type, mais bloquée par la diffusion diagonale concurrente si elle est de plus grande priorité.

### Hierarchie des types

Les types sont ordonnés dans une hiérarchie. De cet ordre nous déduisons le niveau de priorité de la diffusion et l'effet barrière. Un deuxième type d'obstacle a été ajouté aux types initiaux.

#### *faible priorité*

- espace naturel
- espace urbanisé (sillonné de voies non distinguées)
- obstacle 1
- voie
- accès (*échangeur*)
- voie à accès limité (type autoroutier)
- obstacle 2 (*rivière, ravin*)
- espace non planaire (pont, tunnel)

#### *forte priorité*

## ***Règles de diffusion des agents***

Le calcul est initialisé en déposant des agents sur un ou plusieurs lieux de départ, (éventuellement concurrents géographiquement). Les agents diffusent sur l'espace en se multipliant, et disparaissent en mourant dès qu'ils sont bloqués. Lorsqu'aucun agent ne vit plus, le calcul est terminé. Comme chaque agent minimise le coût d'accès marqué lors de la diffusion, la carte obtenue est une carte des coûts minimaux.

### **1) Déplacement de la place P1 vers P2**

SI la diffusion de P1 vers P2 est autorisée  
SI P2 est inexplorée (coût non établi)  
OU BIEN P2 est déjà explorée, MAIS on minimise le coût,  
ALORS on dépose un agent sur P2,  
(par création d'agent, ou déplacement de celui qui est sur P1)

### **2) Naissance d'agents sur les places contiguës**

SI N places candidates à la diffusion  
ALORS création de N-1 agents

### **3) Mort d'un agent**

Si le déplacement est impossible.  
Il se suicide s'il est rattrapé par un agent porteur d'un coût moindre.

En phase de fiabilisation et d'amélioration algorithmique, le projet sera intégré aux stations de travail sous UNIX, pour augmenter le SIG raster GRASS. Les types sont révisés pour faciliter l'intégration des données saisies.

Les cartes de coût d'accès seront utilisées dans des simulations et des travaux statistiques. Le calcul des coûts pourra être en d'autres unités et selon plusieurs critères.