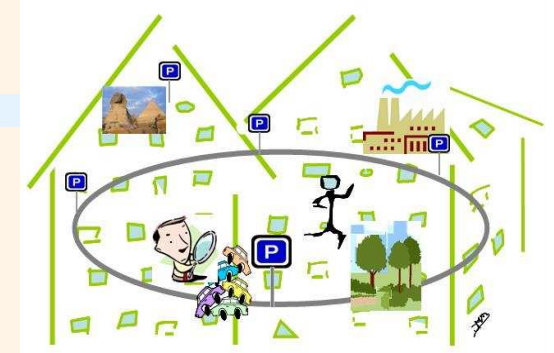


Thèse présentée pour obtenir le grade de
DOCTEUR de l'Université de LA ROCHELLE
mention INFORMATIQUE



03 mai 2007

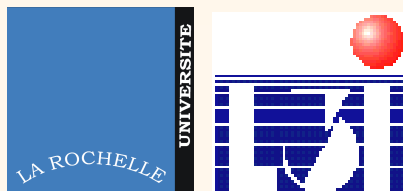
Modélisation de comportements dans les systèmes dynamiques

Application à l'organisation et à la régulation
du stationnement et du déplacement
dans les Systèmes de Trafic Urbain

Jean-Marie Boussier *

Pascal Estrailier

directeur de thèse



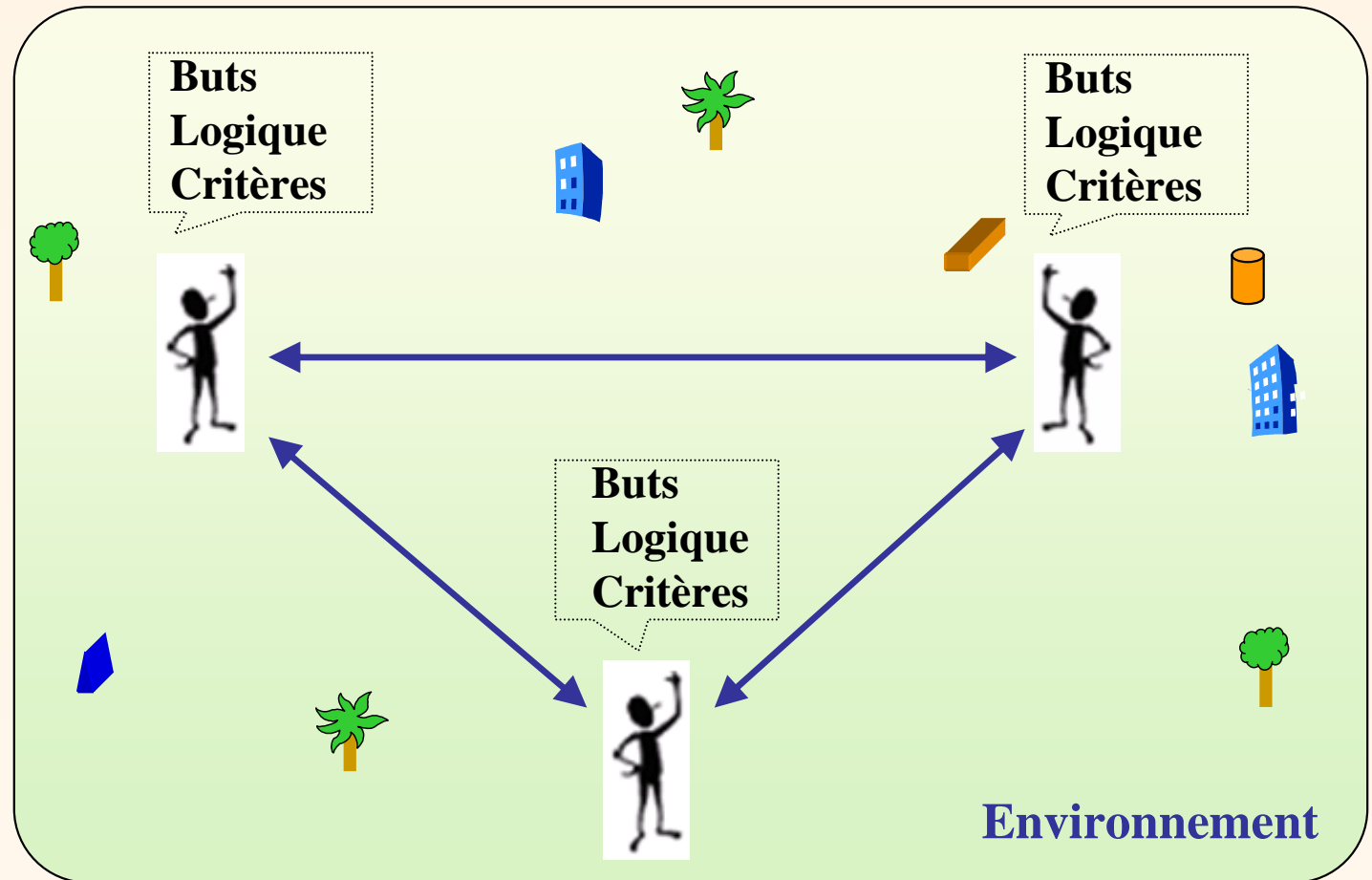
Laboratoire Informatique-Image-Interaction

* *salarié de* 

Entités autonomes évoluant dans un environnement

en interaction pour accomplir des buts communs (ou pas)

Conception du système
paradigme multi agents



Contexte
Problématique

Organisation de
placements

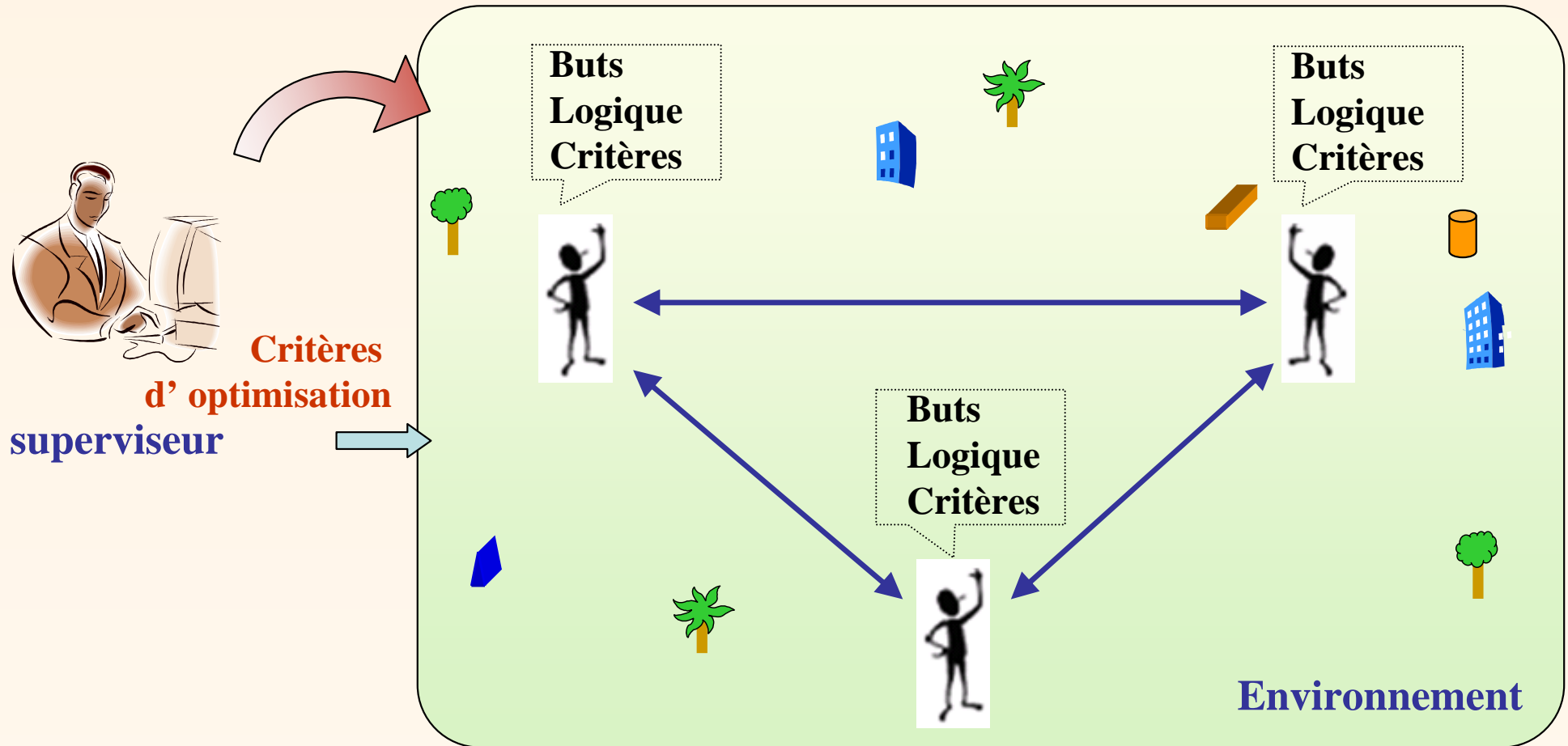
Modèle
comportemental

Principe
des enquêtes

Cadre
méthodique

Activité de
stationnement

- Tester des stratégies \longrightarrow Changements de comportements des agents
par environnement modifié ou comportements des autres



Contexte
Problématique

Organisation de
placements

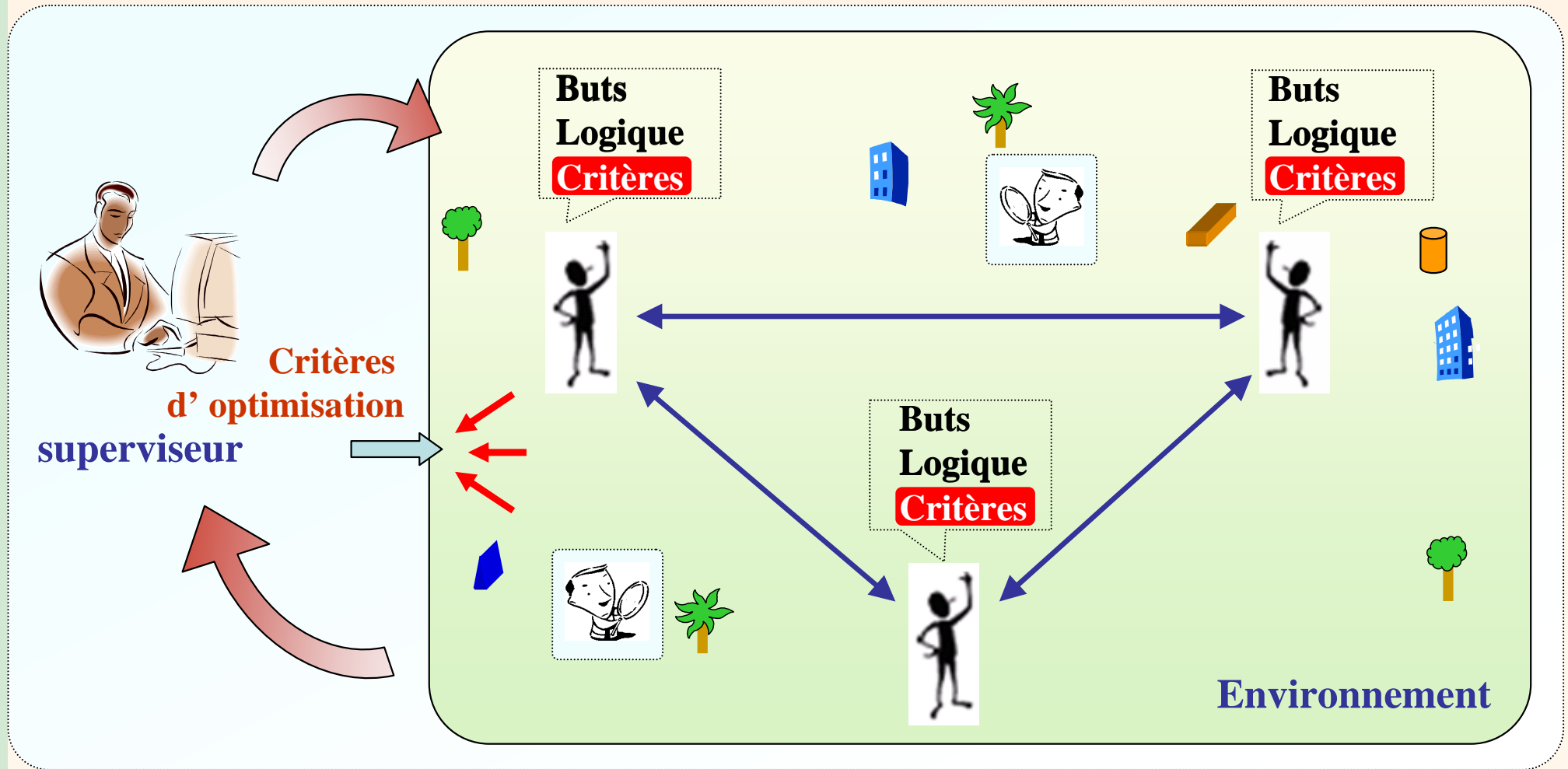
Modèle
comportemental

Principe
des enquêtes

Cadre
méthodique

Activité de
stationnement

- Tester des stratégies → Changements de comportements des agents
- Analyser les impacts ← Evolution " environnement – agents "



Contexte
Problématique

Organisation de
placements

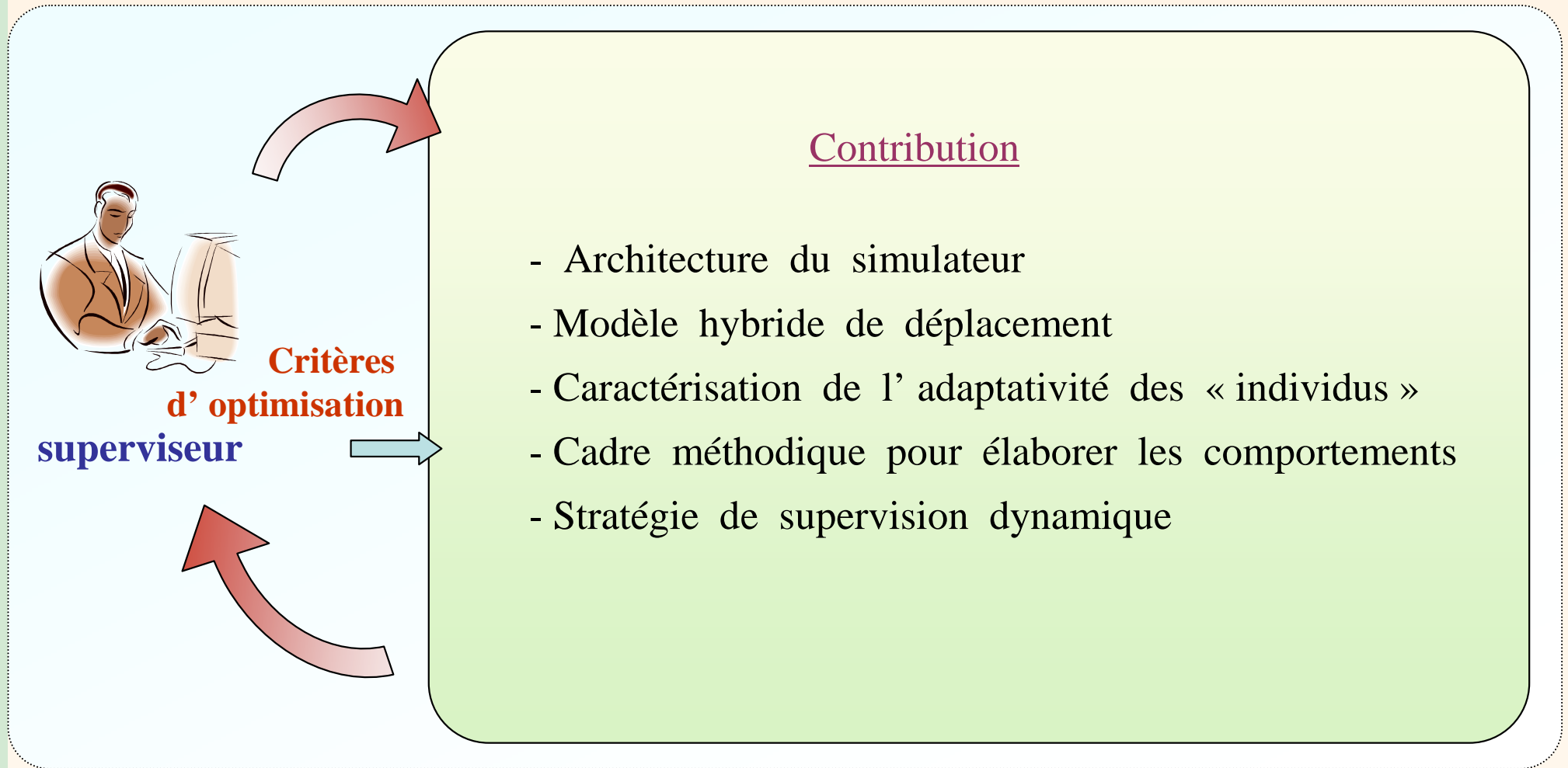
Modèle
comportemental

Principe
des enquêtes

Cadre
méthodique

Activité de
stationnement

Problématique de la thèse : Permettre à un superviseur de valider ses stratégies



Contexte
Problématique

Organisation de
placements

Modèle
comportemental

Principe
des enquêtes

Cadre
méthodique

Activité de
stationnement

Problématique de l'équipe MoCA (Modèles , Comportements , Architectures) :

Conception de modèles , de méthodes , de langages et d' outils pour représenter , analyser et mettre en œuvre le comportement dans des systèmes complexes et évolutifs

Verrous :

- Modélisation de comportements dépendant de l' environnement
- Exécution adaptative / mécanisme de contrôle d' exécution
- Interaction du superviseur avec les autres entités du système
- Architecture facilitant la réutilisation de composants , d' entités

Projet PAVU :

Organisation du stationnement et du Plan de Déplacement Urbain

Développer un simulateur 3D de trafic urbain multimodal permettant d' **aider un régulateur** à valider des **stratégies de déplacement et de transport**

Contexte
Problématique

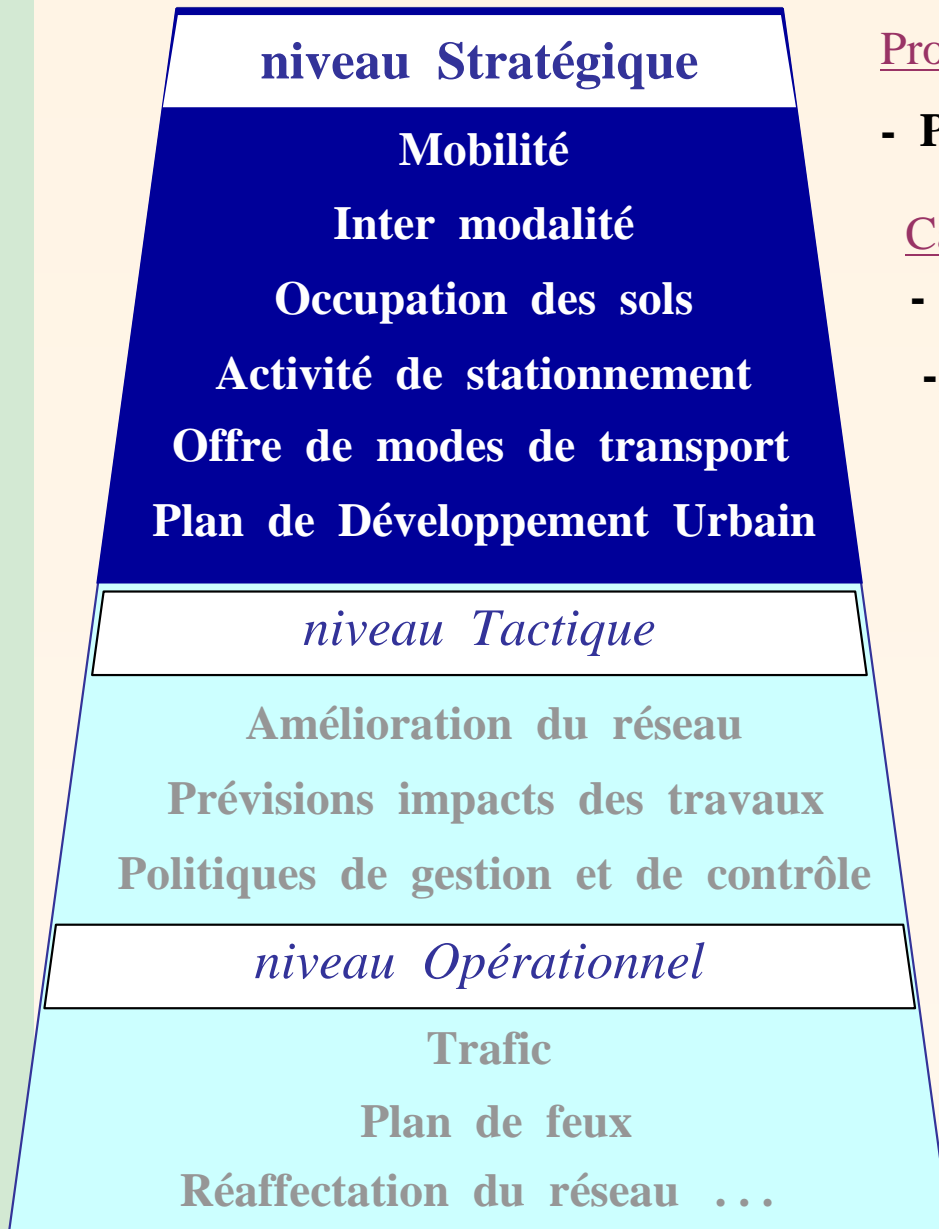
Organisation de
placements

Modèle
comportemental

Principe
des enquêtes

Cadre
méthodique

Activité de
stationnement



Problématique de la thèse :

- Permettre à un régulateur de valider ses stratégies

Caractéristiques :

- pas de contrôle centralisé
- environnement évolutif et spécifique à chaque ville

Verrous :

- prise en compte de nouvelles offres ou services (stationnement, modes de transport)
- reproduction de comportements d'utilisateurs
- cadre générique pour élaborer des heuristiques de choix

Application au domaine :

- concevoir un modèle intégrant le parking
- modéliser l'accessibilité et l'attractivité d'un site
- interaction transport - urbanisme dans un environnement dynamique

Contexte
Problématique

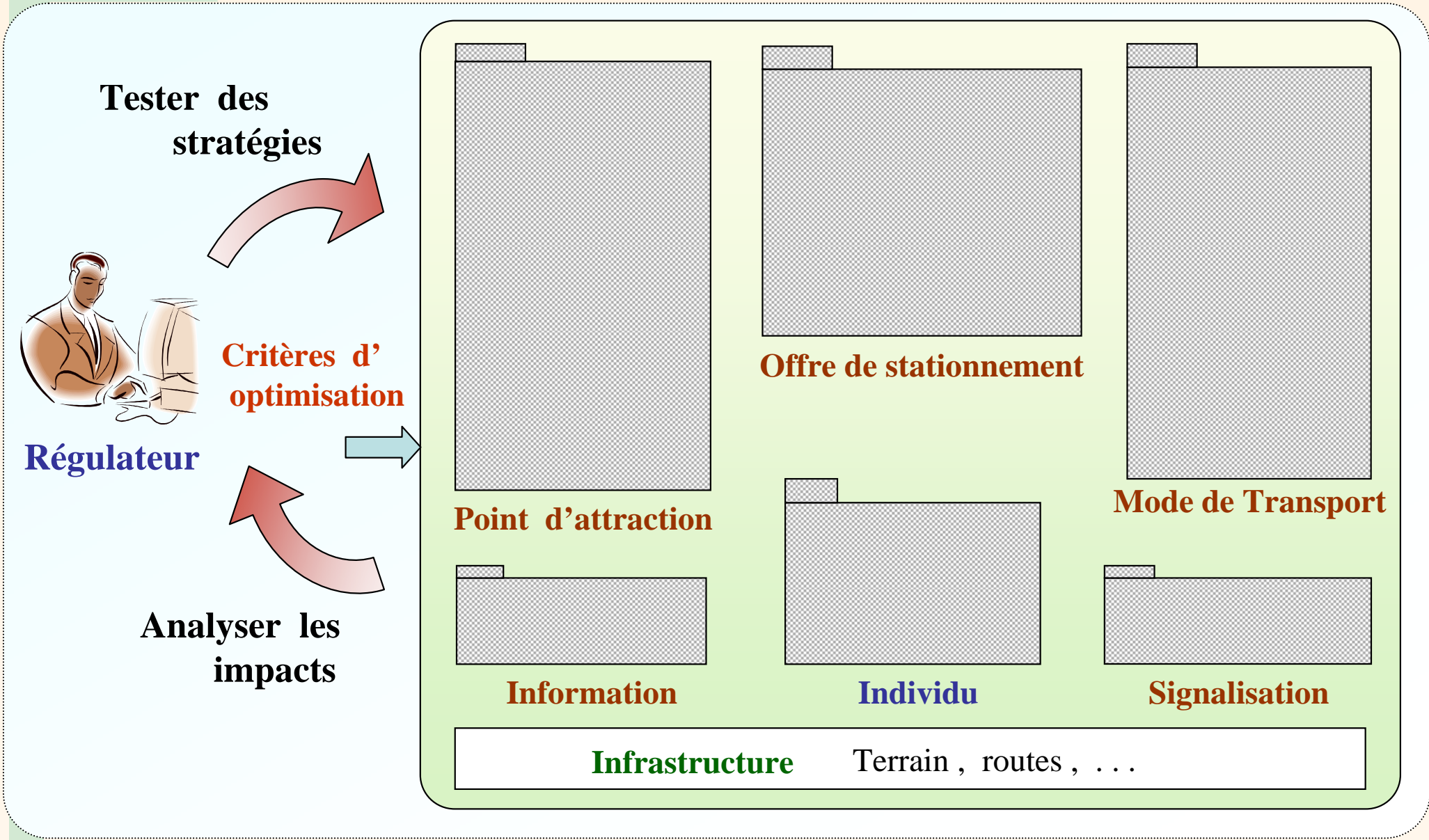
Organisation de
placements

Modèle
comportemental

Principe
des enquêtes

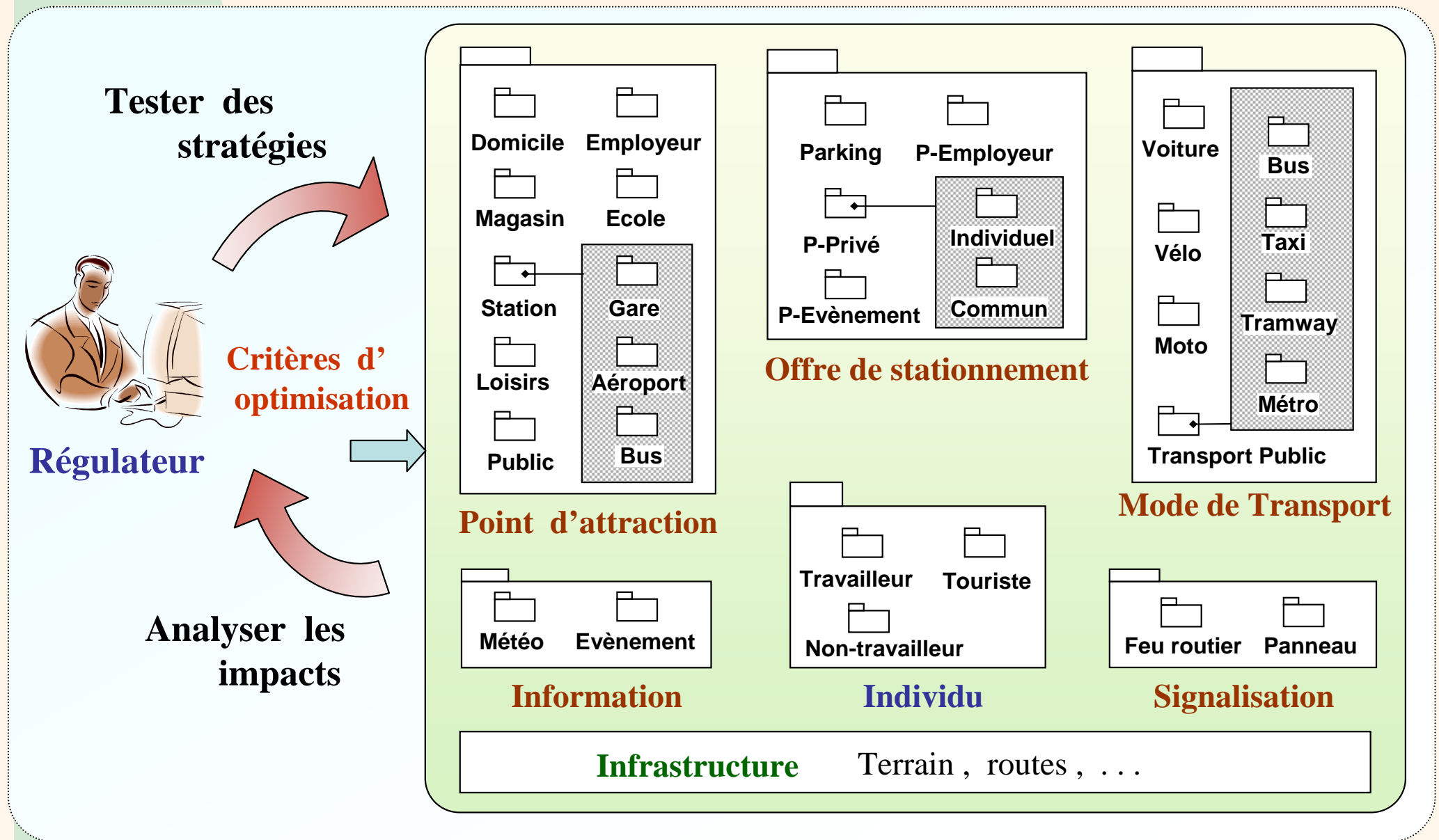
Cadre
méthodique

Activité de
stationnement



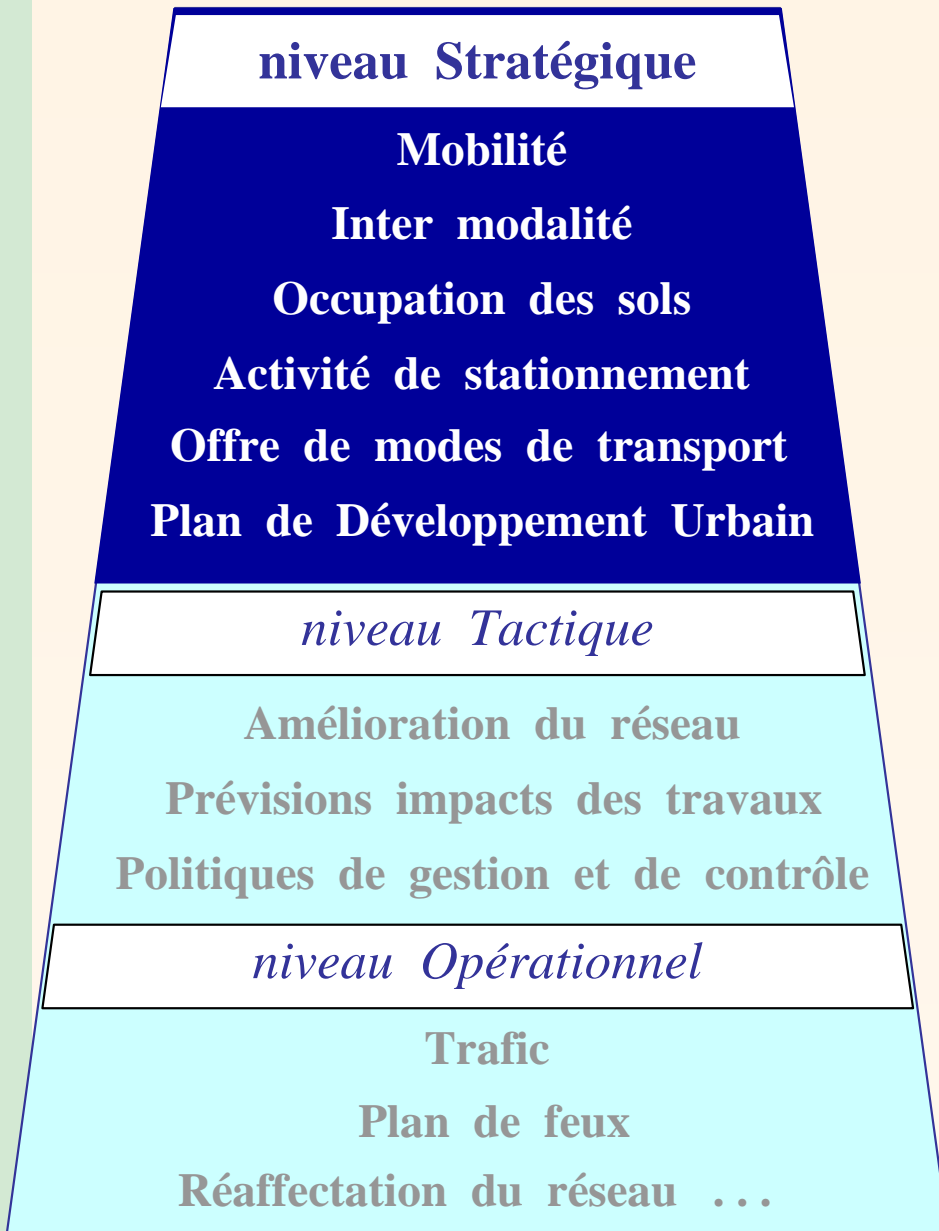
SYSTÈMES SOCIÉTAUX : préférences des individus



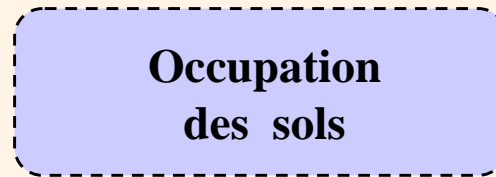


SYSTÈMES SOCIÉTAUX : préférences des individus





Composants et Entités réutilisables



Agents organisant leurs déplacements



Agents immergés dans le trafic

Effets : — **Moyen terme**
 == **Long terme**

**Contexte
Problématique**

Organisation des déplacements

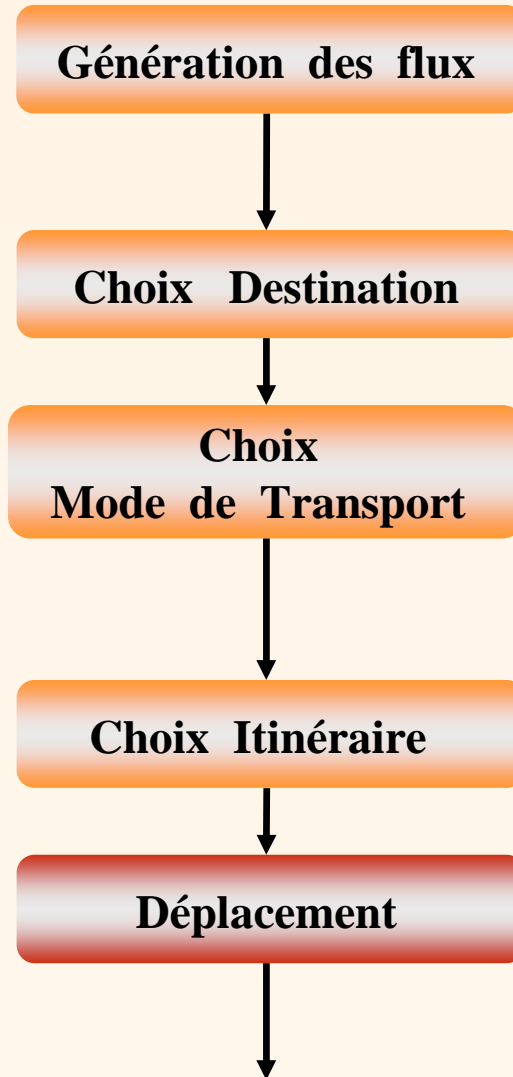
**Modèle
comportemental**

**Principe
des enquêtes**

**Cadre
méthodique**

**Activité de
stationnement**

MODÈLE À 4 - ÉTAPES



Contexte
Problématique

Organisation de
déplacements

Modèle
comportemental

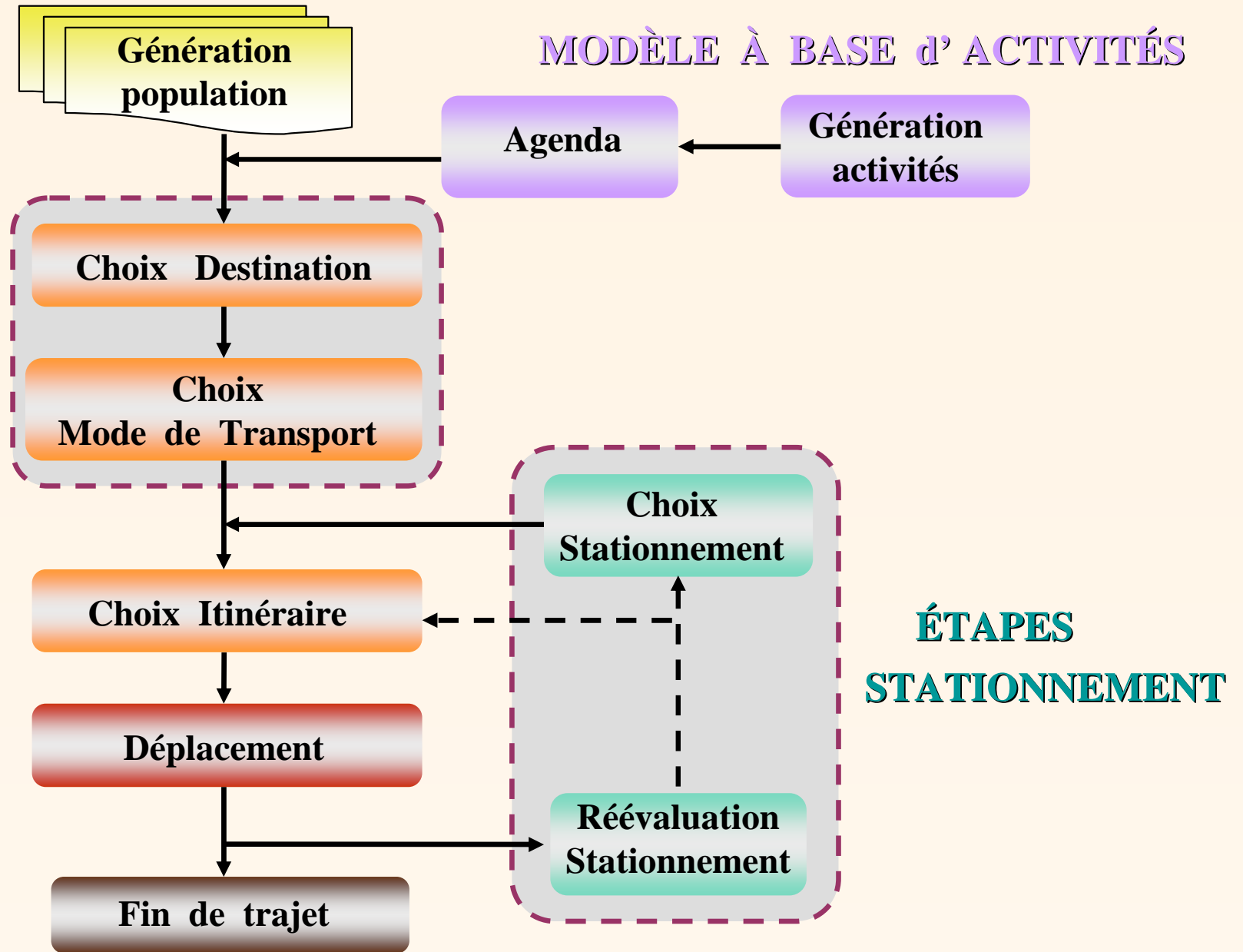
Principe
des enquêtes

Cadre
méthodique

Activité de
stationnement

MODÈLE À BASE d'ACTIVITÉS

MODÈLE À 4-ÉTAPES



Contexte
Problématique

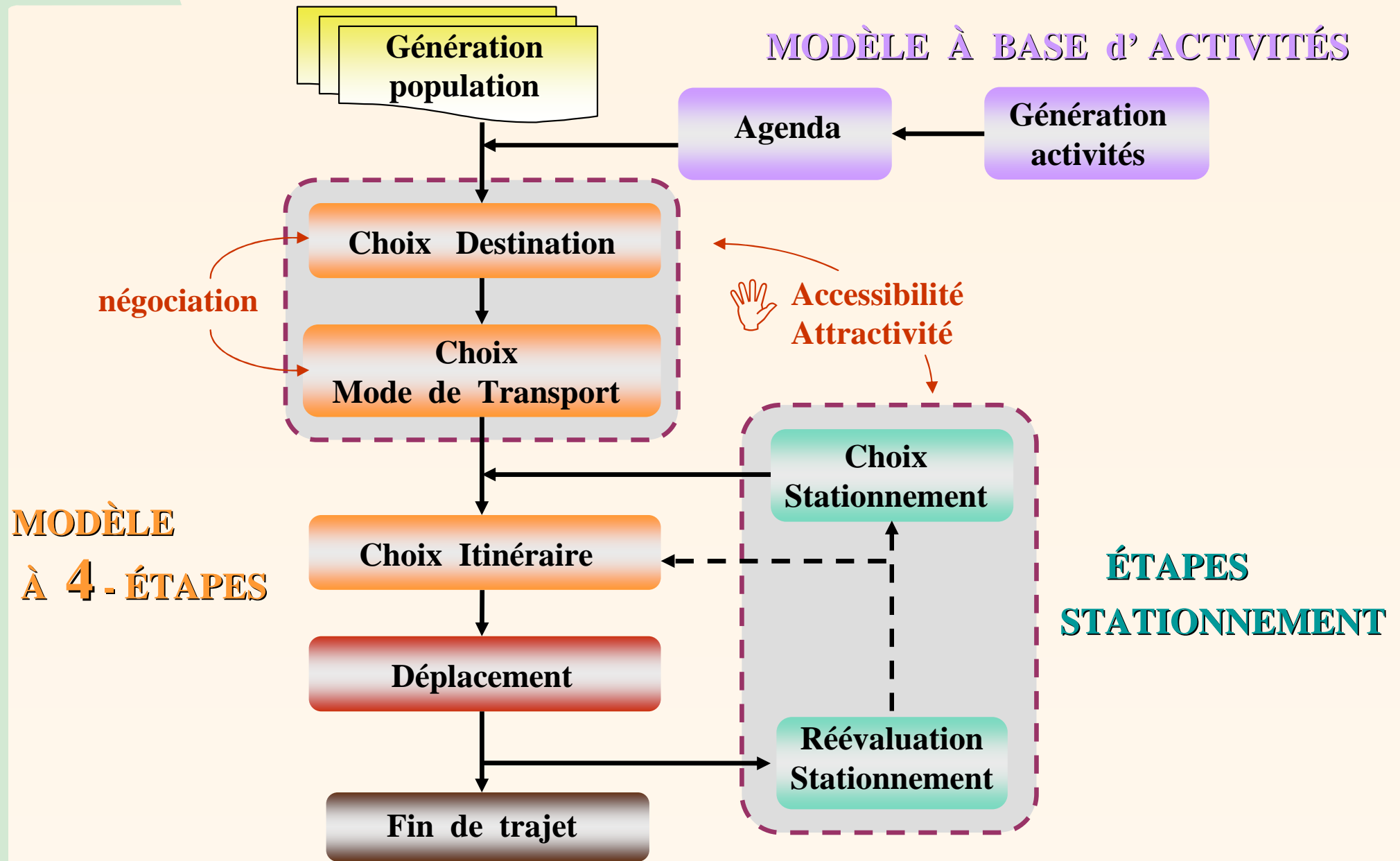
Organisation de
déplacements

Modèle
comportemental

Principe
des enquêtes

Cadre
méthodique

Activité de
stationnement



Contexte
Problématique

Organisation de
déplacements

Modèle
comportemental

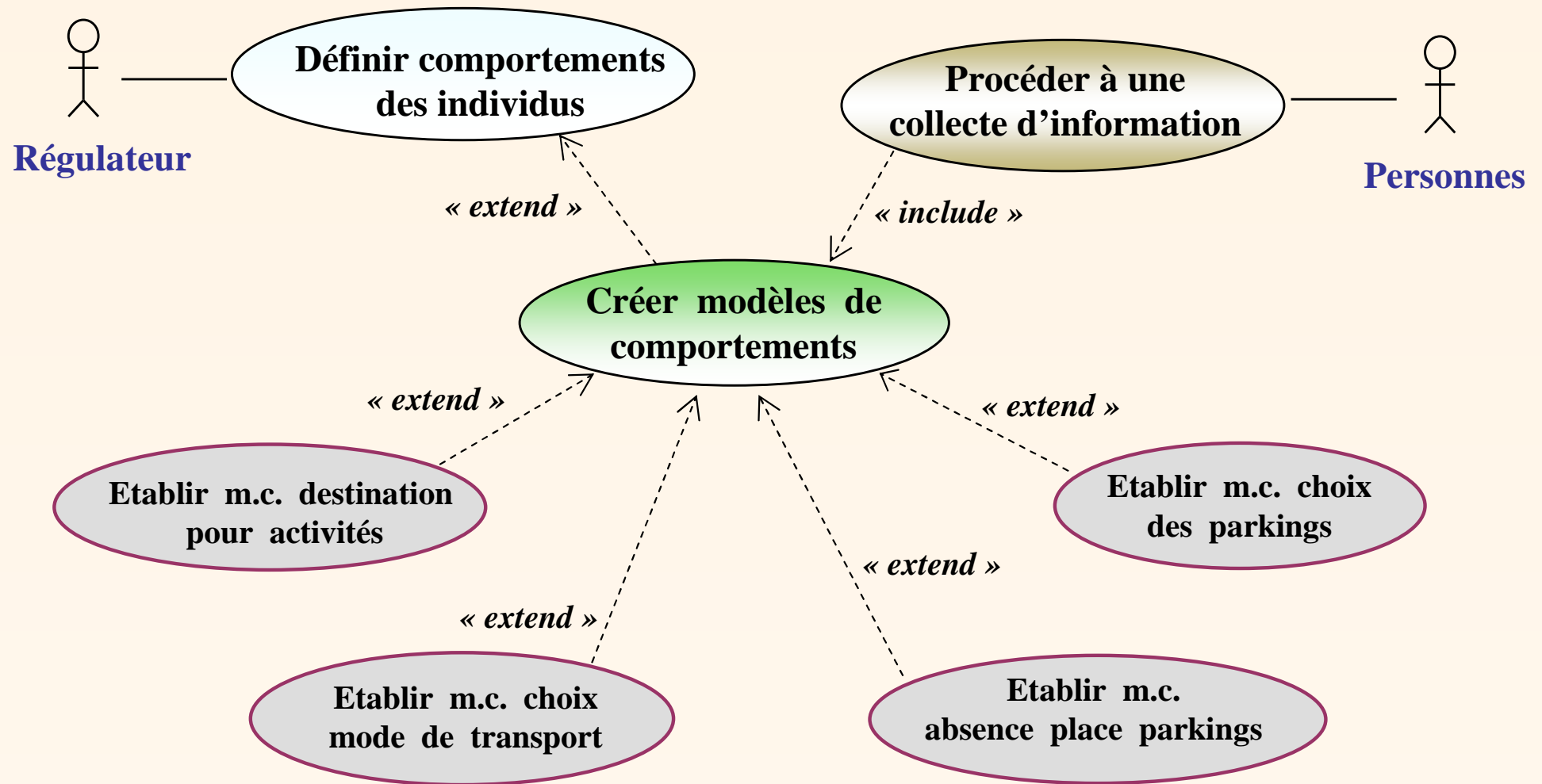
Principe
des enquêtes

Cadre
méthodique

Activité de
stationnement

Ensemble de choix menés par un « individu »

avant de démarrer une phase de la chaîne des déplacements



Contexte
Problématique

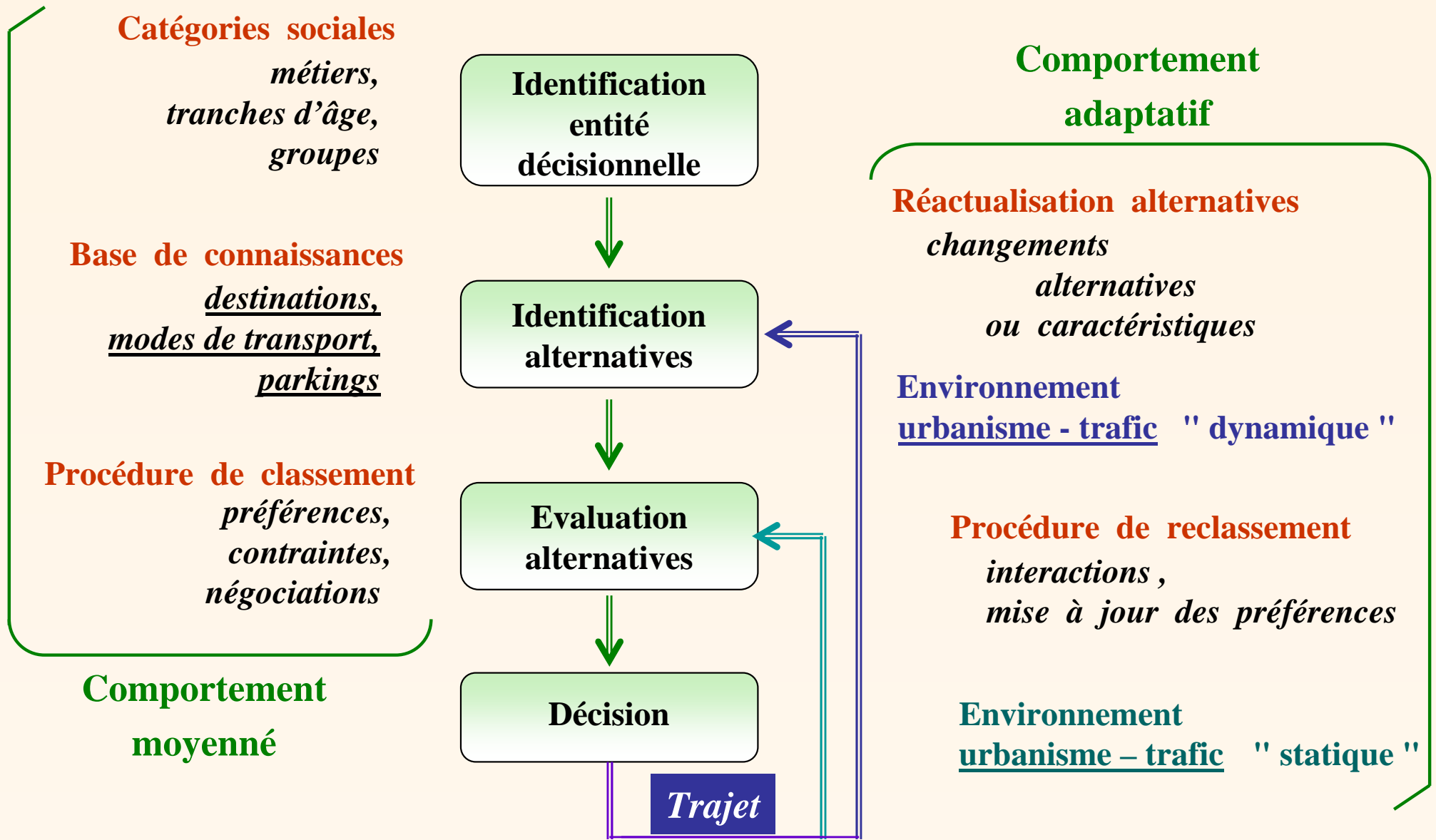
Organisation
déplacement

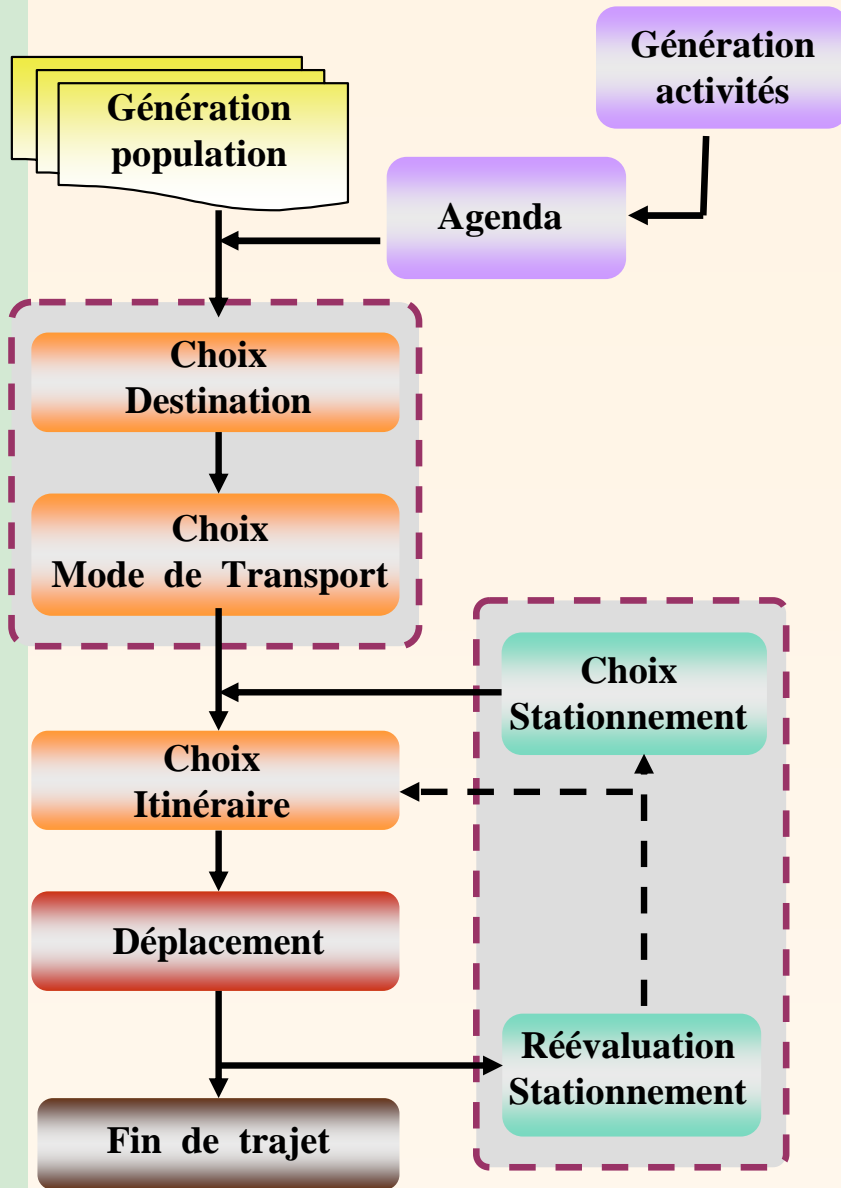
Modèle
comportemental

Principe
des enquêtes

Cadre
méthodique

Activité de
stationnement





Problèmes :

- Connaître les préférences des usagers par catégorie
- Dégager un comportement individuel basé sur :
 - préférences communes de la catégorie
 - contraintes individuelles
 - expériences individuelles

dans un contexte transport - urbanisme dynamique

Solution :

questionnaire à base de préférences déclarées
(technique marketing)

Contexte
Problématique

Organisation
déplacement

Modèle
comportemental

Principe
des enquêtes

Cadre
méthodique

Activité de
stationnement

Principe : l'individu sanctionne des scénarios hypothétiques par une fonction score

Hypothèse : l'agent A appartenant à la catégorie C est supposé choisir le scénario qui maximise son score S_a .

Exemple : *choix entre bus et vélo pour un scénario donné*
(distance , conditions météorologiques , ...)

Avant 1^{er} trajet

$$S_{a_{\text{bus}}} = S_{c_{\text{bus}}} \quad S_{a_{\text{bus}}} > S_{a_{\text{vélo}}}$$

Fin 1^{er} trajet

$$S_{a_{\text{vélo}}} = S_{c_{\text{vélo}}}$$

↳ **Trajet en bus**

$$S_{a_{\text{bus}}} = S'_{a_{\text{bus}}}$$

Condition(s)
défavorable(s)

Avant 2^e trajet
(même scénario)

$$S_{a_{\text{bus}}} = S'_{a_{\text{bus}}}$$

$$S'_{a_{\text{bus}}} < S_{a_{\text{vélo}}}$$

$$S_{a_{\text{vélo}}} = S_{c_{\text{vélo}}}$$

↳ **Trajet en vélo**

**Problème de
Maximisation utilité (score)**

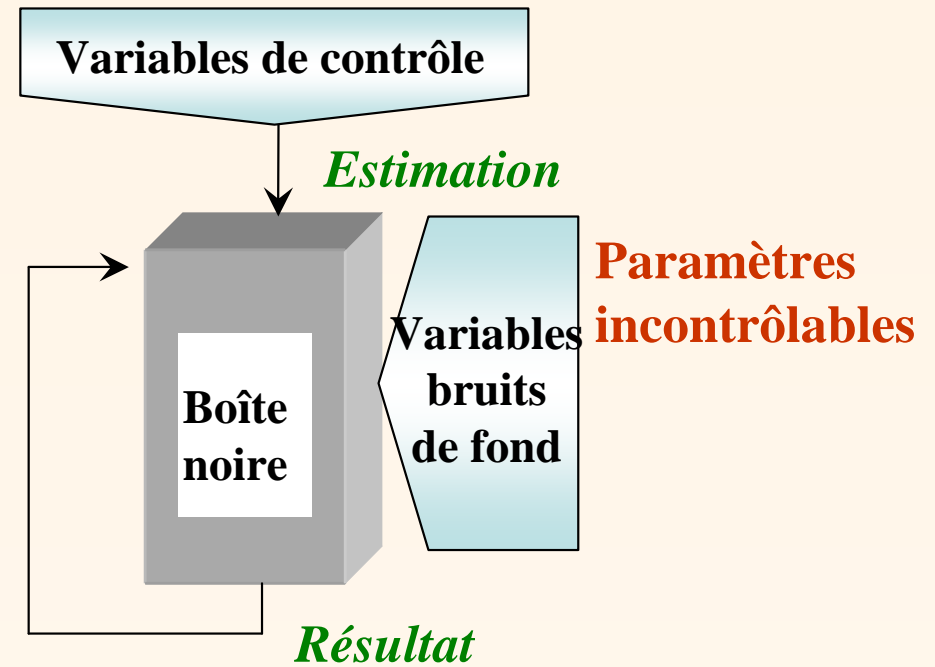
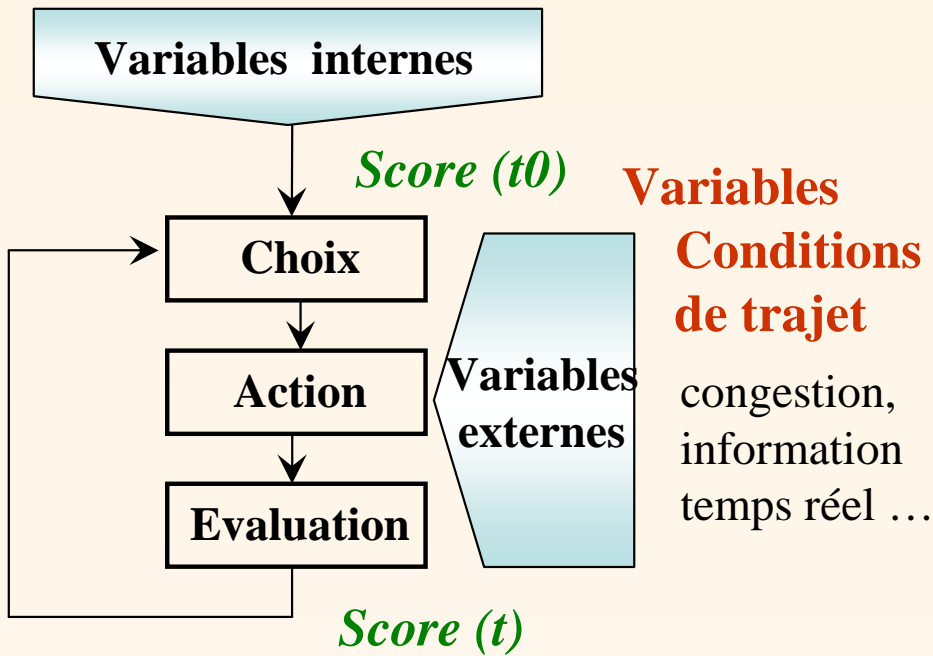


**Problème d'
Optimisation de Procédé**

**Variables liées à l'alternative
et à l'activité**

coût , distance , type activité , ...

**Paramètres fixes
Paramètres variables**



Score à maximiser
numérique
sémantique

Réponse à optimiser
quantitative
qualitative

Contexte
Problématique

Organisation
déplacement

Modèle
comportemental

Principe
des enquêtes

Cadre
méthodique

Activité de
stationnement

Problème : Comment définir la fonction score ?

Solution adoptée : **Théorie de l'utilité (microéconomie, recherche opérationnelle)**

Principe : choix du scénario n basé sur la maximisation de l'utilité individuelle de l'entité i

$$U_i^n = S_i^n + \varepsilon_i^n \quad \text{avec } S_i^n \text{ - part déterministe (score), } \varepsilon_i^n \text{ - terme aléatoire}$$

$$S_i^n = \underbrace{a_{i1}x_{i1}^n + a_{i2}x_{i2}^n + \dots + a_{im}x_{im}^n}_{\text{effets caractéristiques de l'individu}} + \underbrace{a_{ij}x_{ij}^n + \dots + a_{il}x_{il}^n}_{\text{effets variables liées à l'alternative}} + \underbrace{a_{ij1}x_{i1}^n x_{j1}^n + \dots}_{\text{effets variables liées aux activités}} + \underbrace{a_{ij1}x_{i1}^n x_{j1}^n + \dots}_{\text{effets couplages variables}} + \underbrace{a'_{i1}y_{i1}^n + \dots}_{\text{effets interactions inter agents}}$$

effets caractéristiques de l'individu

effets variables liées à l'alternative

effets variables liées aux activités

effets couplages variables

effets interactions inter agents

Score par catégorie sociale i

effets des variables à valeurs connues avant le déplacement

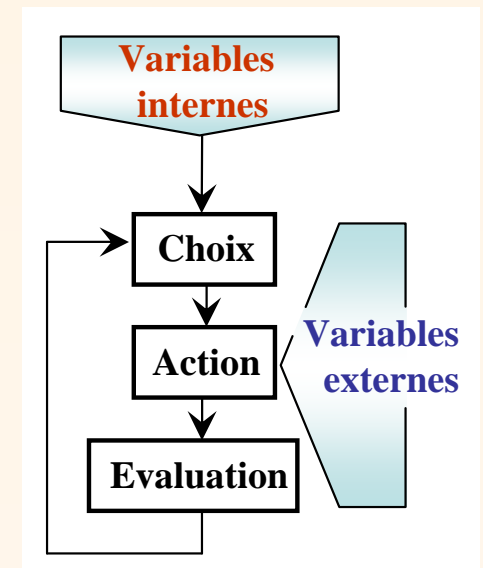
effets des variables à valeurs inconnues = apprentissage individuel

Problème : tester un nombre important de variables avec un nombre "raisonnable" de scénarios

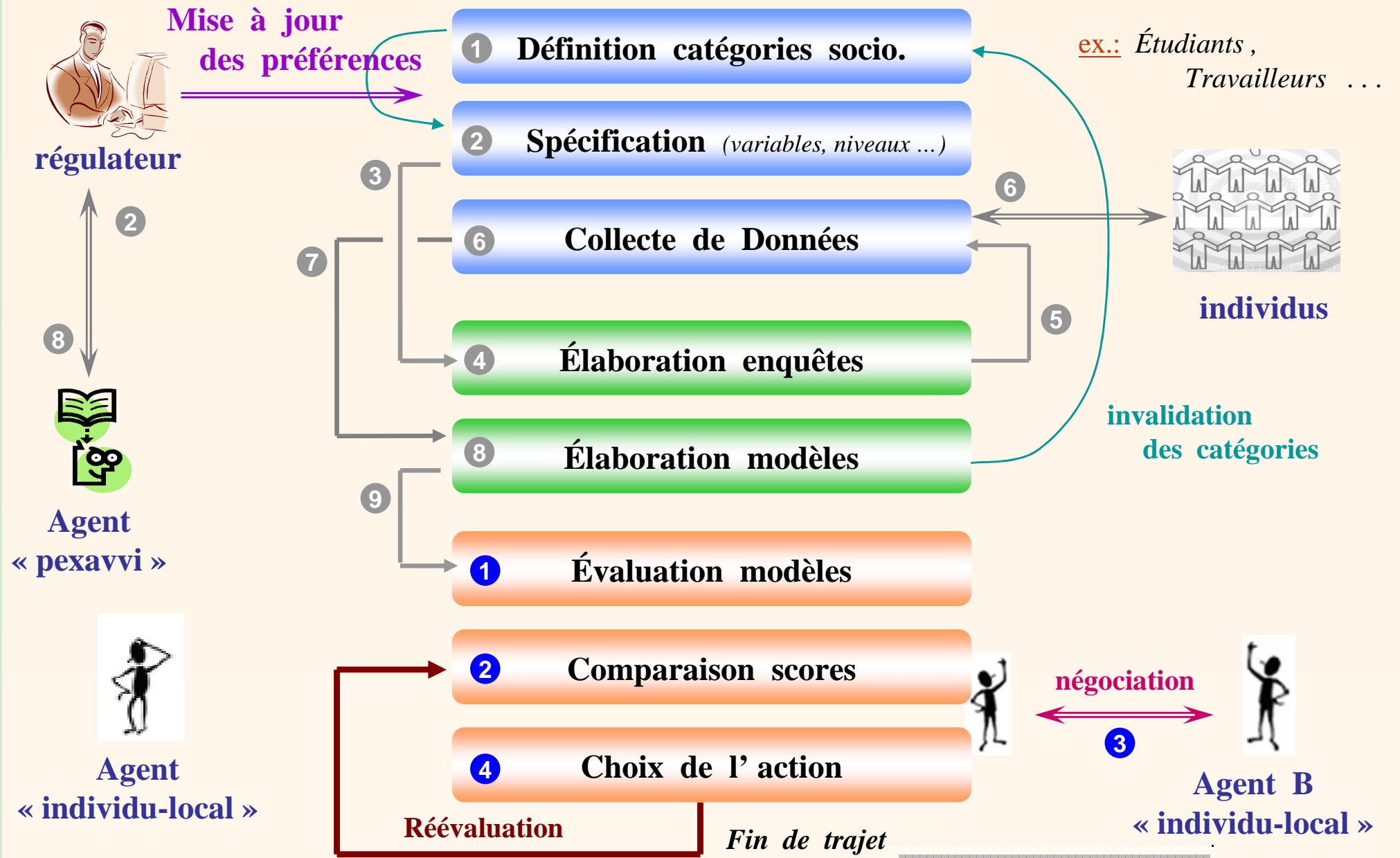
Solution adoptée : questionnaire à base de plans factoriels (technique d'optimisation, marketing)

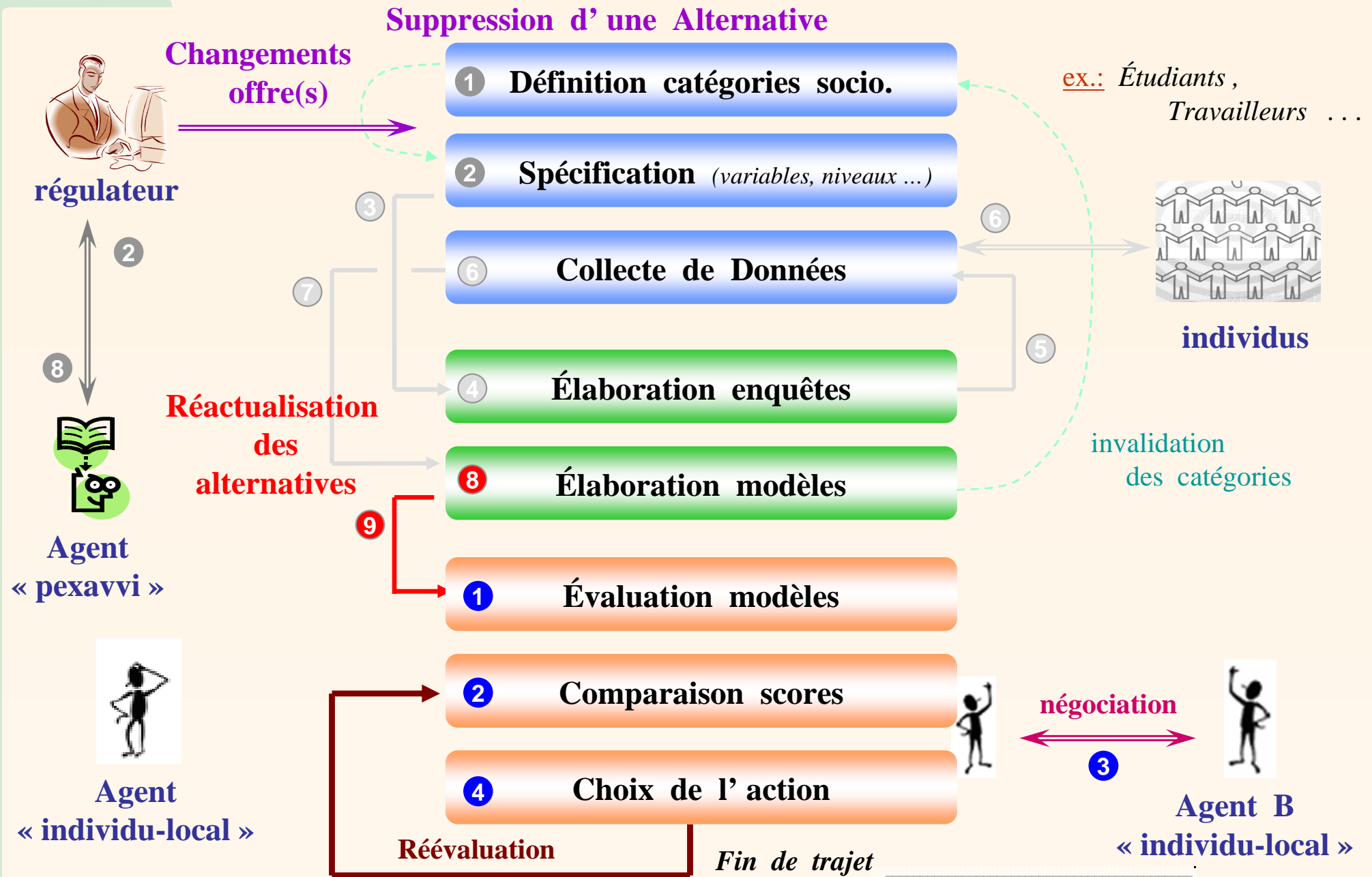
					Variables externes			
					congestion	non	...	oui
<u>contrôlées</u>				
					retard	non	...	oui
Variables internes					Q'_i	1	...	4
Q_i	distance	...	prix	activité	Scores S_{11} ... S_{14} ----- S_{31} ... S_{34}			
1	< 300 m	...	< 1 €	urgente				
...				
3	< 300 m	...	> 1 €	urgente				
...				

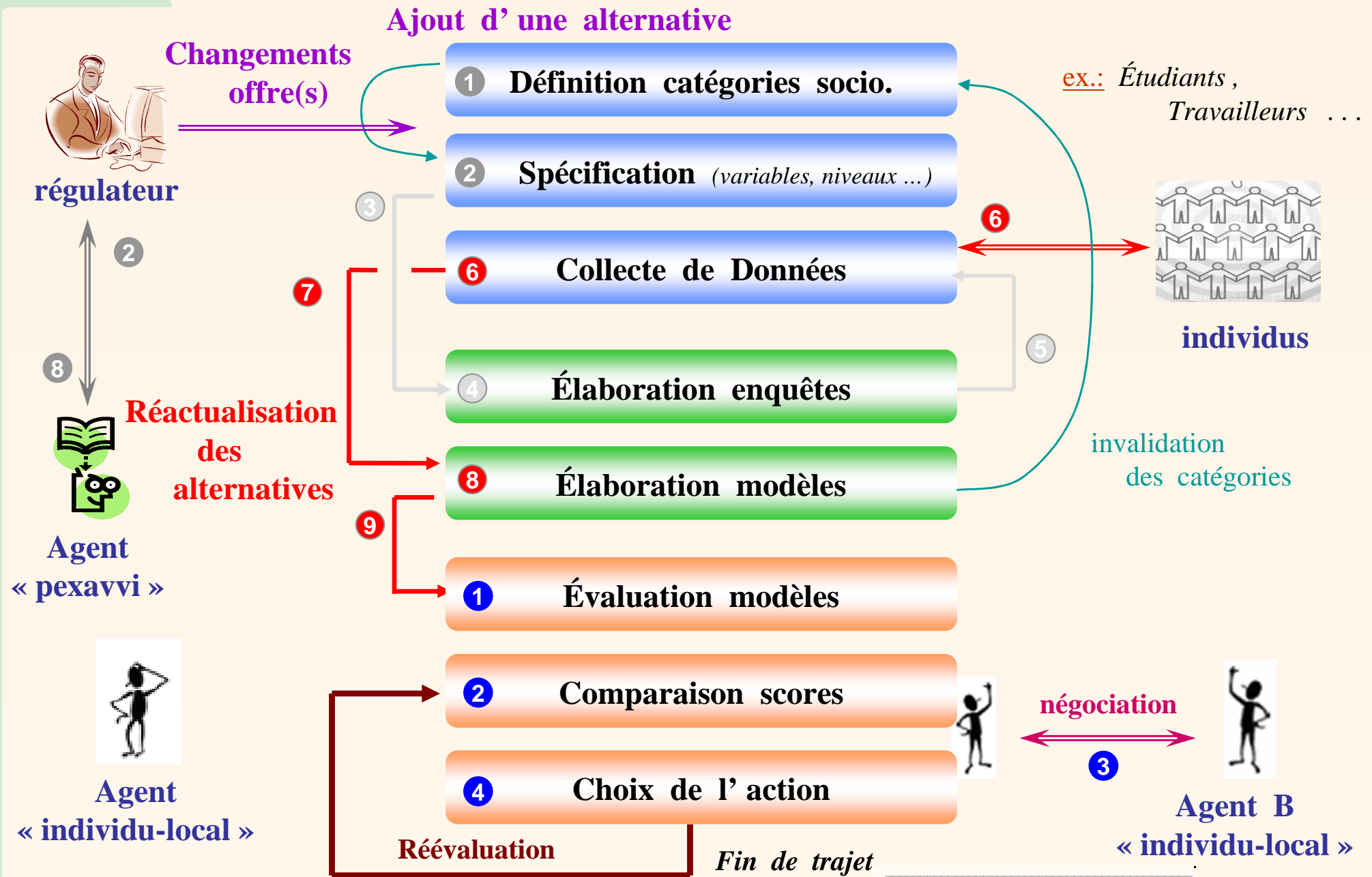
non contrôlées



- nombre important de variables
- variables quantitatives et qualitatives
- effets des variables liées aux conditions de trajet
- réduction du nombre de questions
- couplages (ou interactions) entre variables
- "robustesse" pour un choix







Stationnement = réelle heuristique comportementale

Intérêts :

- pour la description d' un système trafic urbain :

- indicateur inévitable de l' accessibilité à une zone de la ville affectant l' attractivité des sites

- pour les choix stratégiques en matière de transport :

- levier de régulation des flux , une sorte de péage urbain

Absente dans la modélisation et la simulation trafic :

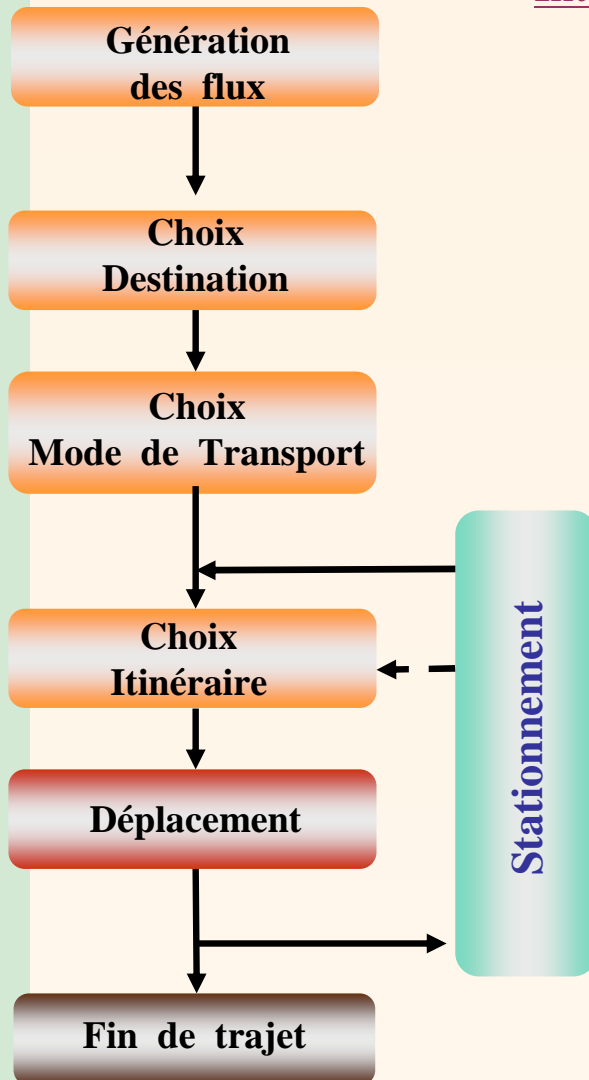
- pour la description d' un système trafic urbain :

- étude découplée des autres phases de la chaîne de déplacements
METROPOLIS (1996), ... CORSIM (2000), VISSIM (2005), ALBATROSS (2006)

- études quasi - inexistantes des effets du déséquilibre
"offre - demande" de stationnement
[Arnott2005]

- pour les choix stratégiques en matière de transport :

- modèles à faible coloration comportementale
[Petiot2001, Tong2004] basés sur la minimisation du coût
- modèles calibrés à partir des résultats de surveillances
ou préférences observées
[Crowder2003, Hess2004]



Contexte
Problématique

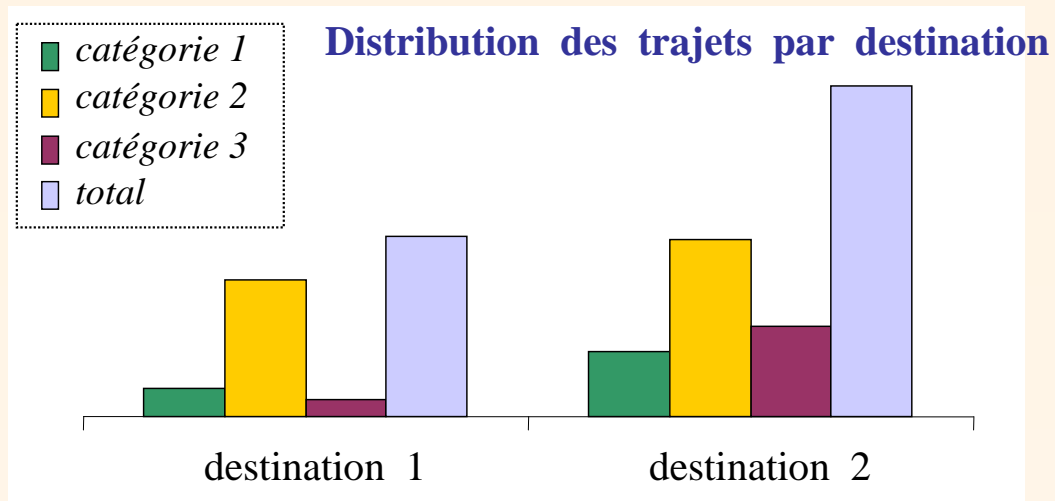
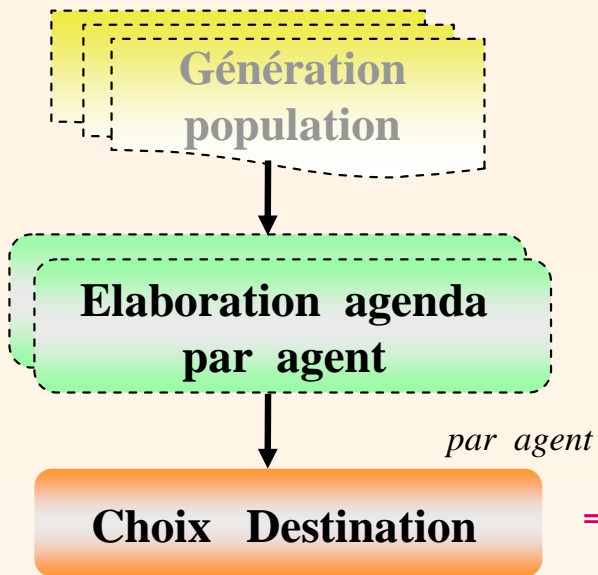
Modèle de
déplacements

Modèle
comportemental

Principe
des enquêtes

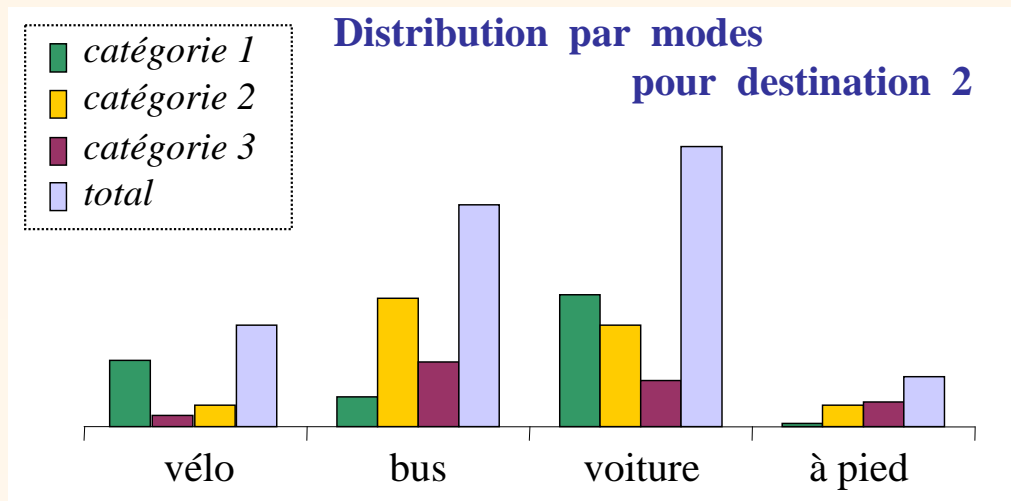
Cadre
méthodique

Activité de
stationnement



Exemple fictif : faire des courses à 17 h

- attractivité**
prix produits, variété des services ...
- accessibilité**
facilité pour se garer, infrastructure ...
- distance**



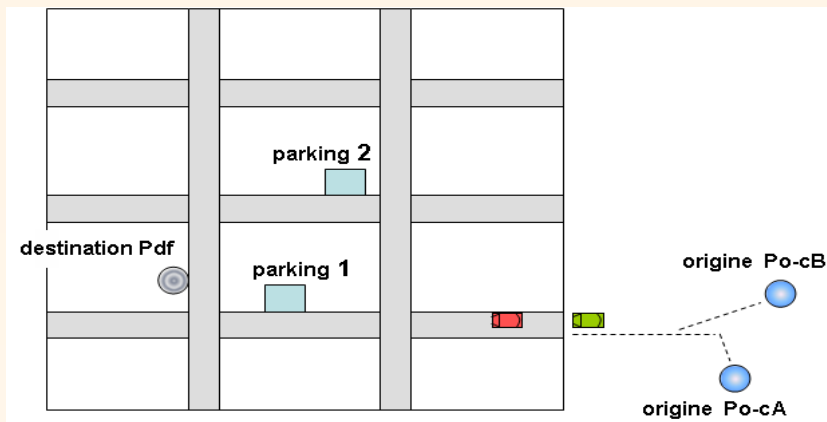
météo, distance ...

**Choix parking
(avant déplacement)**

$$S_{tr} = 25,1 + (6,6 - 6,6) \text{ prix} + (11,7 - 11,7) \text{ distance} + (-3,5 \quad 3,5) \text{ activité} + (1,5 - 1,5) \text{ congestion}$$

$$S_{ét} = 39,8 + (12,7 - 12,7) \text{ prix} + (7,7 - 7,7) \text{ distance} + (3,5 - 3,5) \text{ accessibilité} + (6,2 - 6,2) \text{ congestion}$$

➔ **choix Travailleur : parking 1 , choix Étudiant : parking 2**



➔ **Travailleur : pas de place
au P1**

Etudiant : se gare au P2

Choix alternative (en fin de déplacement)

$$S(\text{tours}) = 1,6 + (0,2 \quad -0,2) \text{ météo} + (0,4 \quad -0,4) \text{ durée_activité} + (0,7 \quad -0,7) \text{ activité}$$

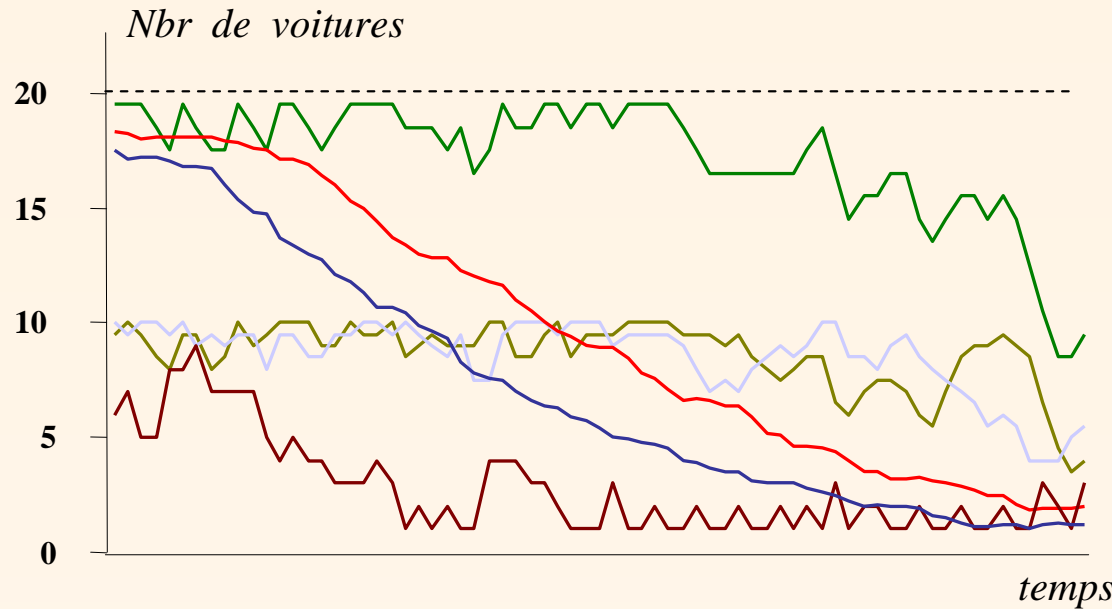
$$S(\text{reporter}) = 0,3 + (0,1 \quad -0,1) \text{ nbr_personnes} + (0,2 \quad -0,2) \text{ importance_activité}$$

➔ **le Travailleur fait des tours**

Scène 1

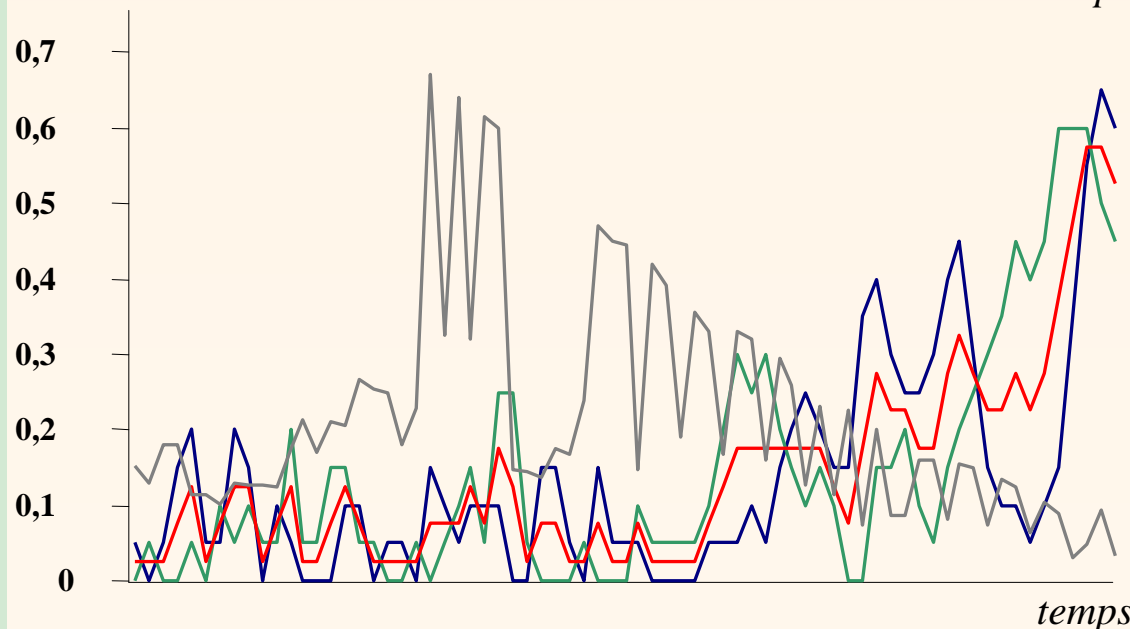
Scène 2

Graphes pour une zone



- parking 1
- parking 2
- utilisation offre stationnement
- voitures zone/10
- voitures en échec
- demande de stationnement/10

déséquilibre
offre - demande
de stationnement

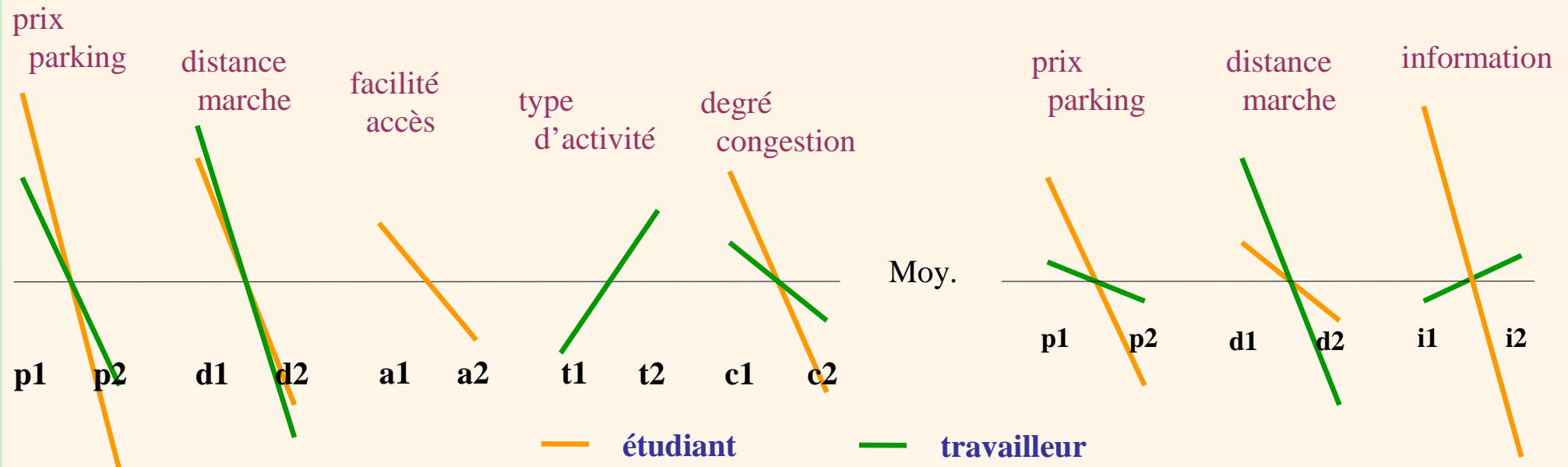


- taux de places vacantes parking 1
- taux de places vacantes parking 2
- taux de places vacantes de la zone
- taux de congestion induit

indicateurs
de performance
et de
congestion induite
par manque de
places disponibles

Effets moyens des variables sur le choix préliminaire

Effets moyens des variables selon les conditions de trajet



- Modifier le(s) prix Modèles de choix parking
- Modifier capacité / parking Simulation
- Encourager un mode de transport (covoiturage) Mécanisme de négociation
- Ajouter un mode de transport (partage de voitures) ... Réactualisation des modèles
- Ajouter un nouveau parking Optimisation multi niveaux

Principe : trouver une solution de compromis pour satisfaire au mieux :

- le CdC des régulateurs trafic et des urbanistes
- les préférences des usagers

➔ **Méthode de Doehlert**

Exemple fictif : **implantation d'un park & ride dans une zone urbaine**

$A \in [0.5 ; 4]$ euros / h ; $B \in [100 ; 500]$ m ; $C \in [30 ; 180]$ places ; $D \in [1 ; 7]$ bus / h

(plan de 21 questions pour 315 scénarios)

<i>plan non orthogonal</i>					Réponses (scores)				
question	Variables d'entrée				Régulateur	Urbaniste	Catégorie X	...	Catégorie W
	A prix (€/h)	B distance (m)	C capacité (nbr places)	D fréquence bus (nb/h)					
1	3	300	150	2	1	2	1,45	...	2,15
...
3	0,8	165	45	6	2	2	2,6	...	1,8
...
21	2,8	525	63	5	4	1	3,85	...	2,13

score converti en désirabilité



modèle désirabilité globale

$$d_{ig} = (d_{i1}^{w_1} d_{i2}^{w_2} d_{i3}^{w_3} \dots)^{\frac{1}{\sum_i w_i}}$$

w_i = poids attribué à l'acteur i

➔ **Combinaison qui maximise la désirabilité globale**

Contexte
Problématique

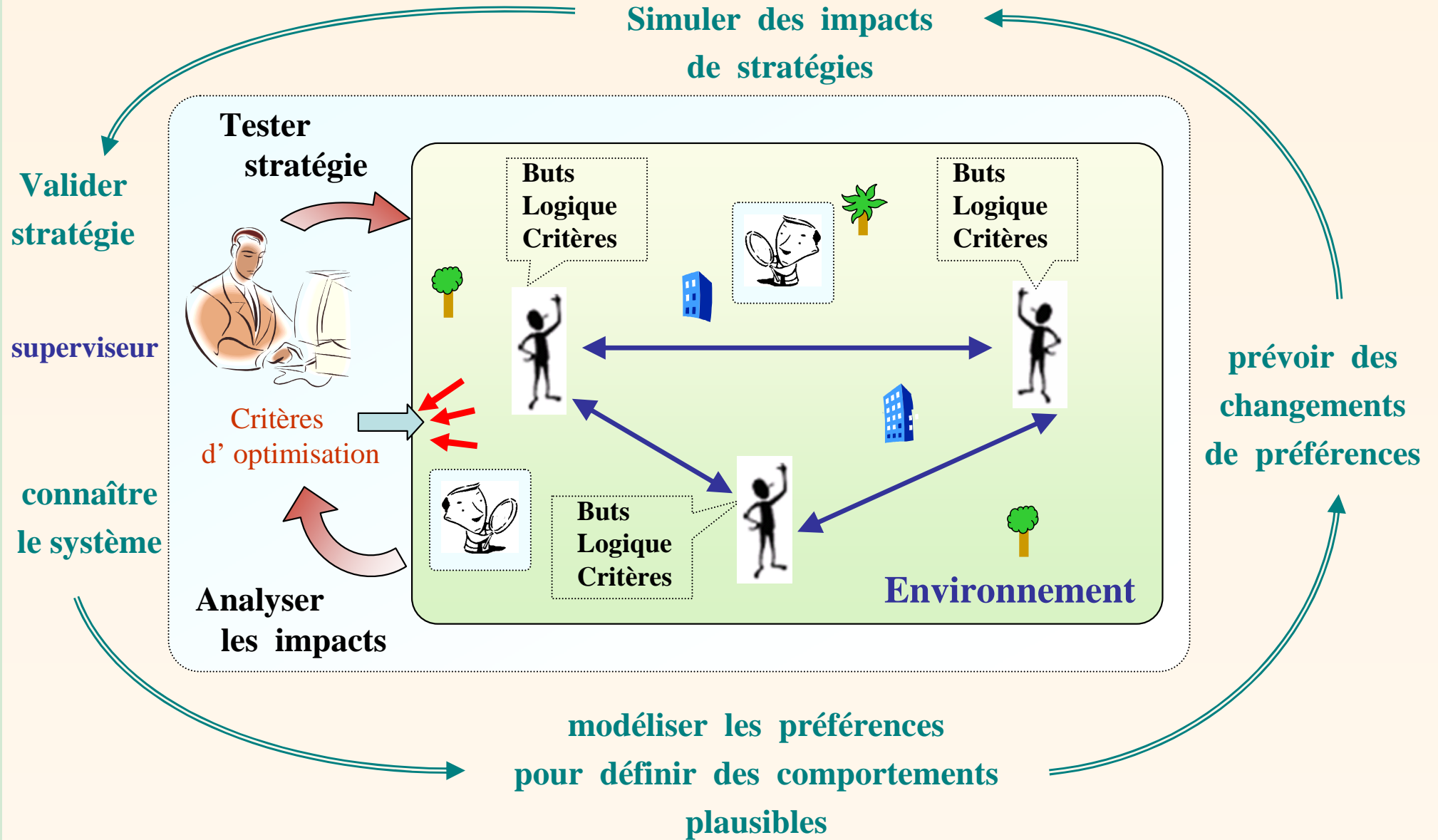
Modèle de
déplacements

Modèle
comportemental

Principe
des enquêtes

Cadre
méthodique

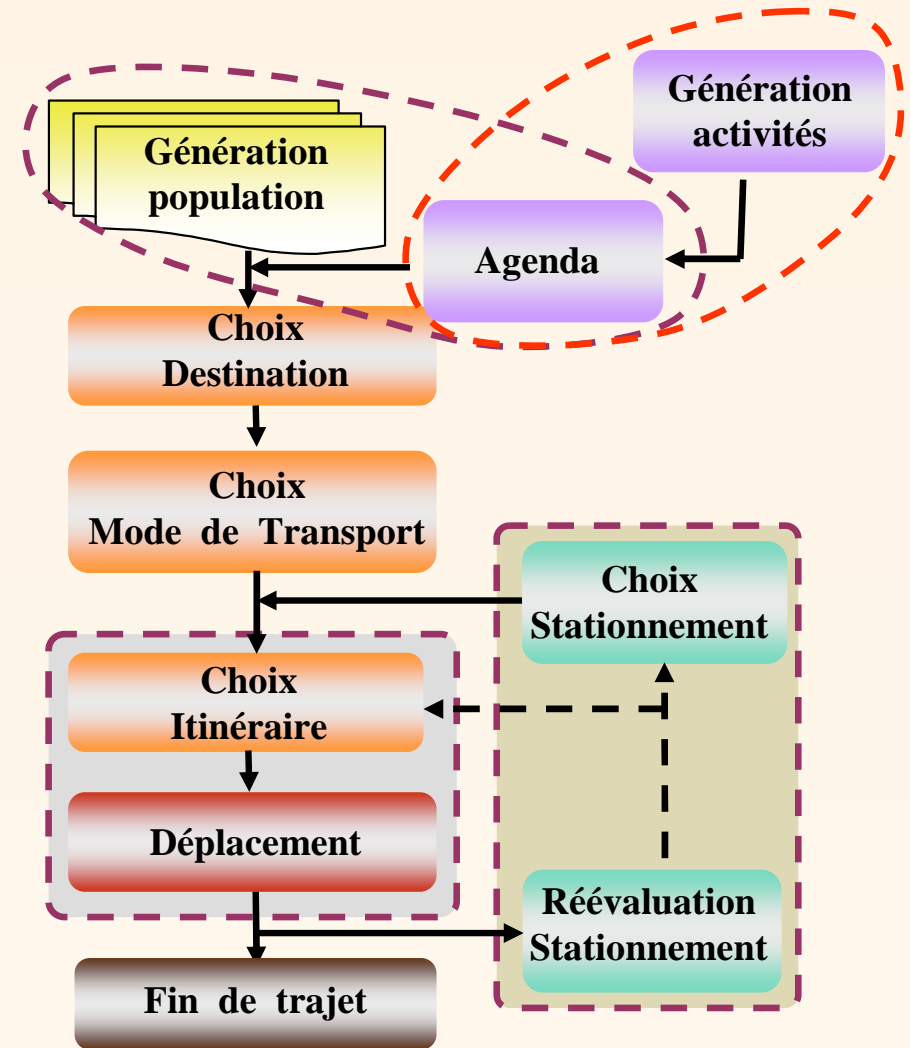
Activité de
stationnement

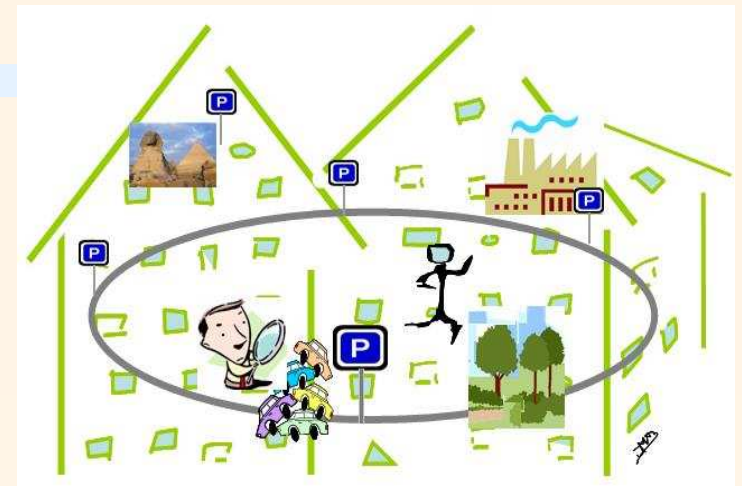


- **Cadre méthodique** appliqué à l'étude d'un système évolutif pour :
 - caractériser des comportements basés sur les préférences des individus évoluant dans un environnement dynamique
 - prendre en compte de nouvelles offres ou services
 - tester des variables, des niveaux et des préférences spécifiques à l'environnement qu'un superviseur souhaite étudier
- **Supervision dynamique** : procédure de mise en place et d'**optimisation multi - niveaux** d'une stratégie
- **Modèle hybride de déplacement** intégrant les destinations "multi sites" et la demande de stationnement
- Démarche de **modélisation** de l'**activité de stationnement** et des impacts sur le trafic urbain
- Approche de **modélisation des concepts** à la base de la demande de déplacement : **accessibilité** à un site, **attractivité** d'un site

- Validation des modèles par enquêtes à préférences observées
- Couplage des modèles de vision et de choix préliminaire

- Implémentation selon l'architecture définie du simulateur
- Intégrer les autres étapes du modèle hybride
- Implémentation du module parking en intégrant un modèle de vision (acquisition d'information sur l'environnement du parking) ⇒ nouvelle(s) alternative(s)





Merci pour votre attention

Jean-Marie Boussier

03 mai 2007