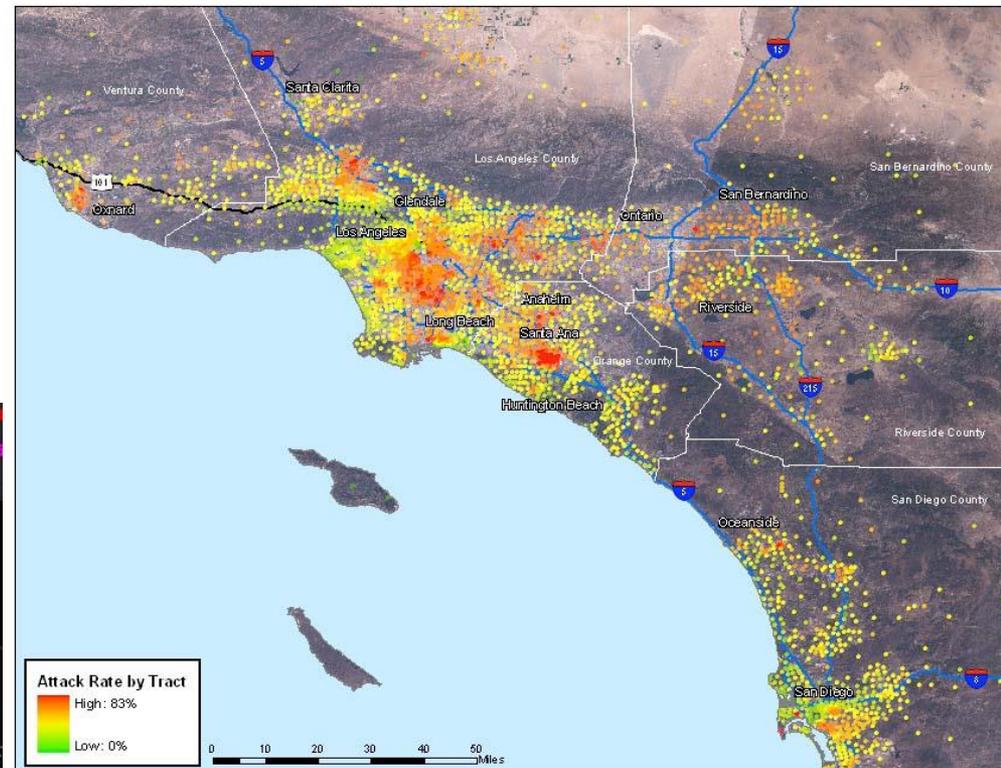
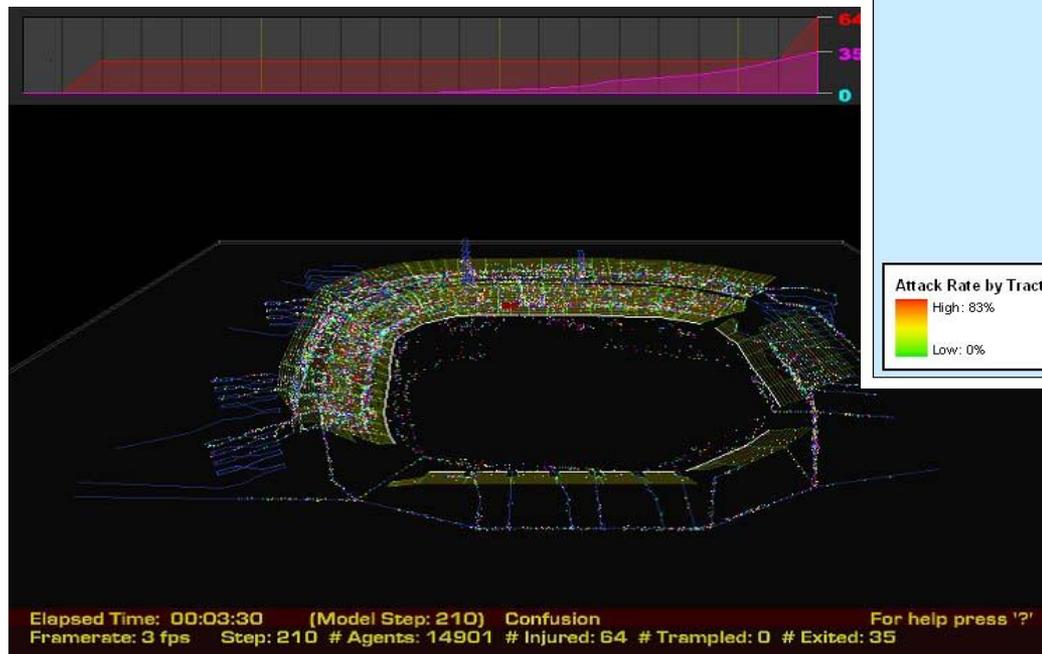


# SIMULATIONS À BASE D'AGENTS MULTI-AGENT BASED SIMULATION (MABS)

---

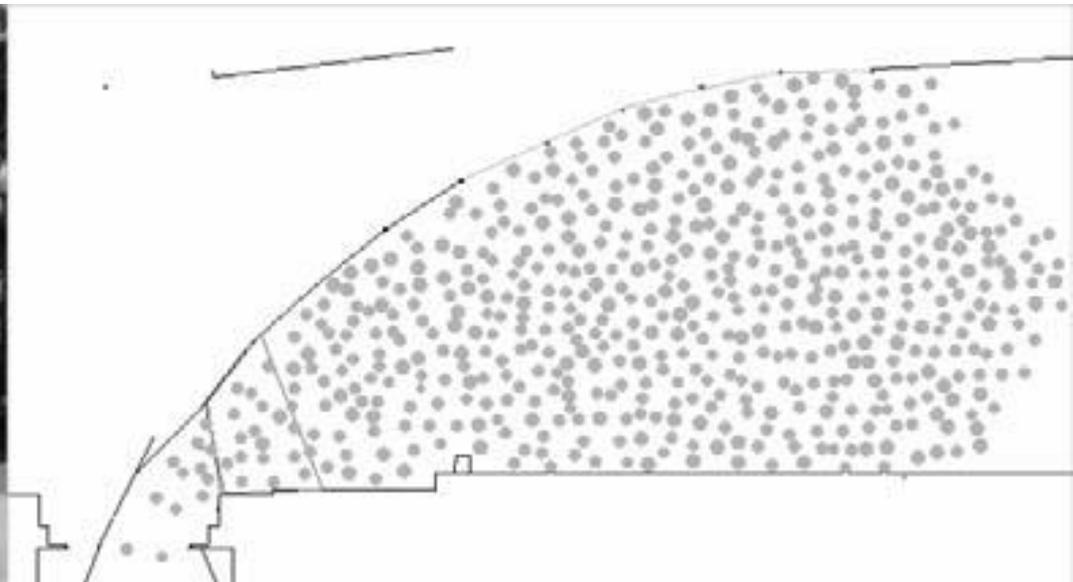
Cours 3

# MABS: la reproduction d'un phénomène à l'aide d'une simulation agent



# Principe de base: on définit au niveau micro et on observe au niveau macro

- Un objectif déterminant une direction privilégiée
  - Si un obstacle est entre moi et la direction, tourner pour avoir un angle plus proche de la première direction disponible
  - Garder ma vitesse maximum sauf si quelqu'un est dans un rayon d'un mètre (diminuer en proportion de la distance)
- 
- +1000 simulations

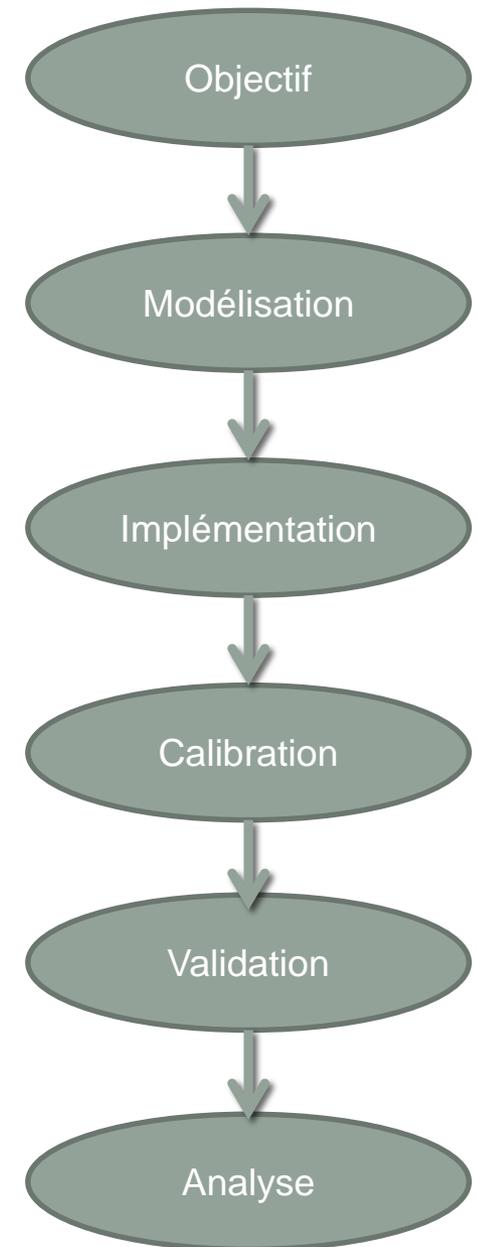


# Un autre exemple, votre projet

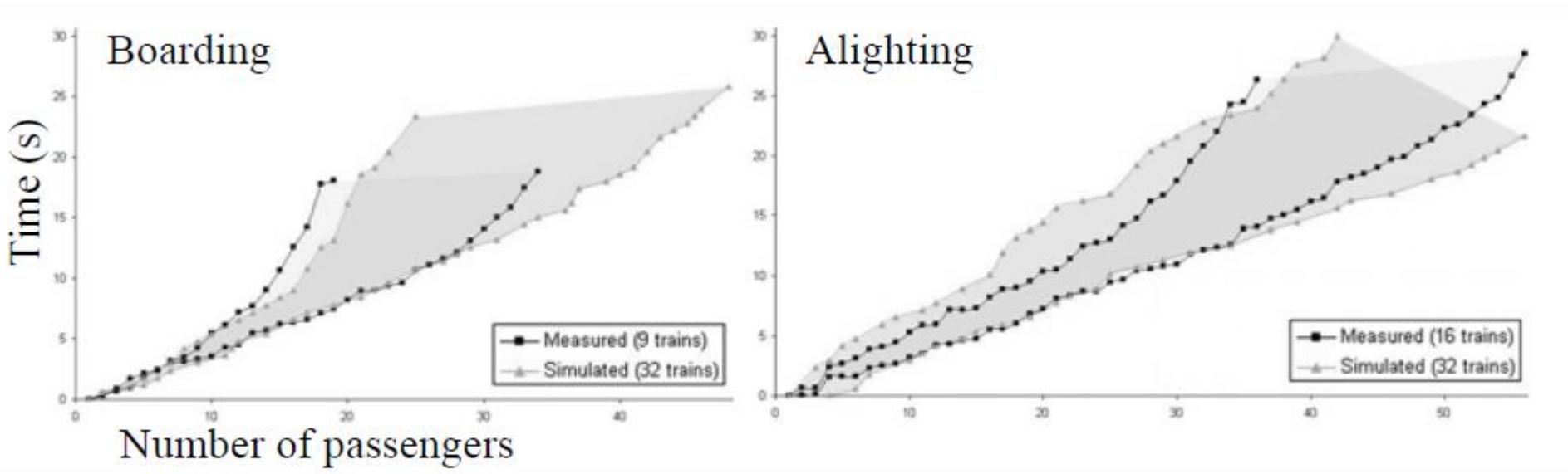
- Définir un contexte, puis un phénomène à analyser (peuvent être complétées au cours de l'étude)
  - Ex: comparer des stratégies basiques au poker
  - Comparer des configurations de réseaux de neurones
  - Analyser la file d'attente au CESFO
  - Analyser l'impact de l'ajout d'un bus entre le bâtiment et le CESFO...

# MABS

- Introduction
- **KISS et l'ACE**
  - Démarche
  - Exemple 1
  - Exemple 2
- KIDS
- Calibration et validation avancées
- Modélisation participative

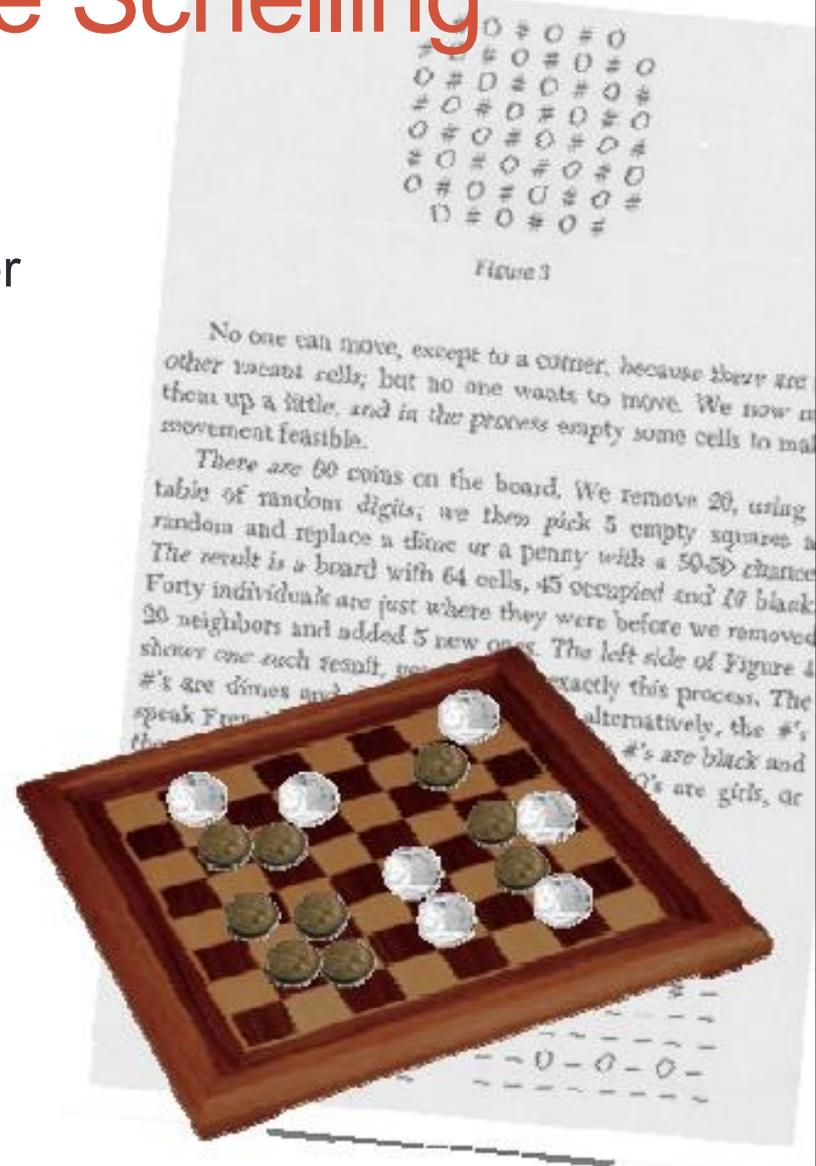


Principe de base KISS: Keep It Simple Stupid! afin de garder l'espace des paramètres/variables suffisamment réduit



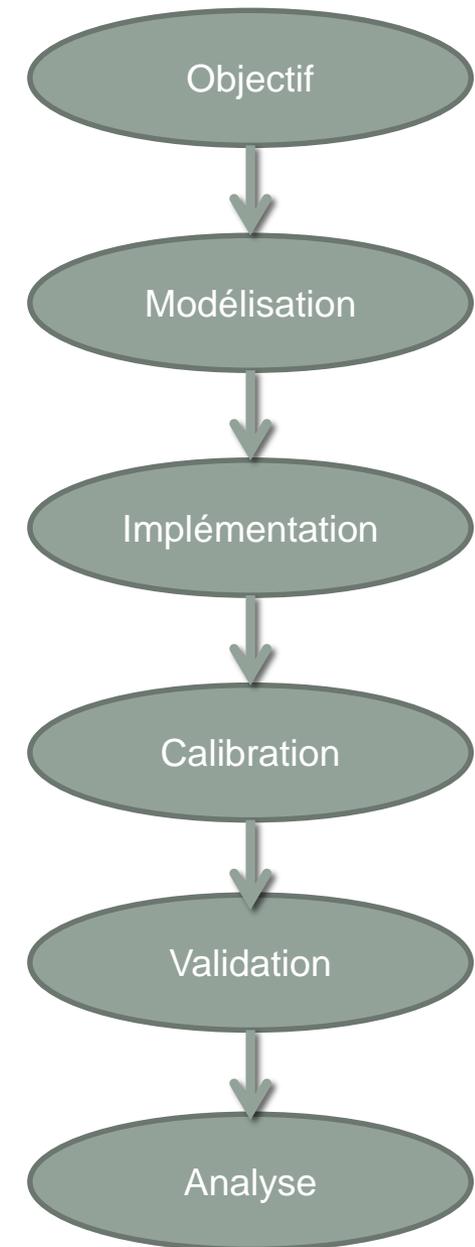
# Exemple: le modèle de Schelling

- Proposé en 1971 par Thomas Schelling
- Objectif: expliquer l'apparition de quartier homogènes dans les villes, et donc de ségrégation, même lorsque les habitants ont une certaine tolérance.
- Modèle:
  - Échiquier
  - 2 types de populations
  - Chaque agent accepte jusqu'à 62,5 % de voisins différents.
    - Si un ou deux voisins, au moins 1 semblable ( $\leq 50\%$  de différents)
    - Si entre trois et cinq voisins, au moins 2 semblables ( $\leq 33\%$ ,  $50\%$ ,  $60\%$ )
    - Si entre six et huit, au moins 3 semblables ( $\leq 50\%$ ,  $57,1\%$ ,  $62,5\%$ )



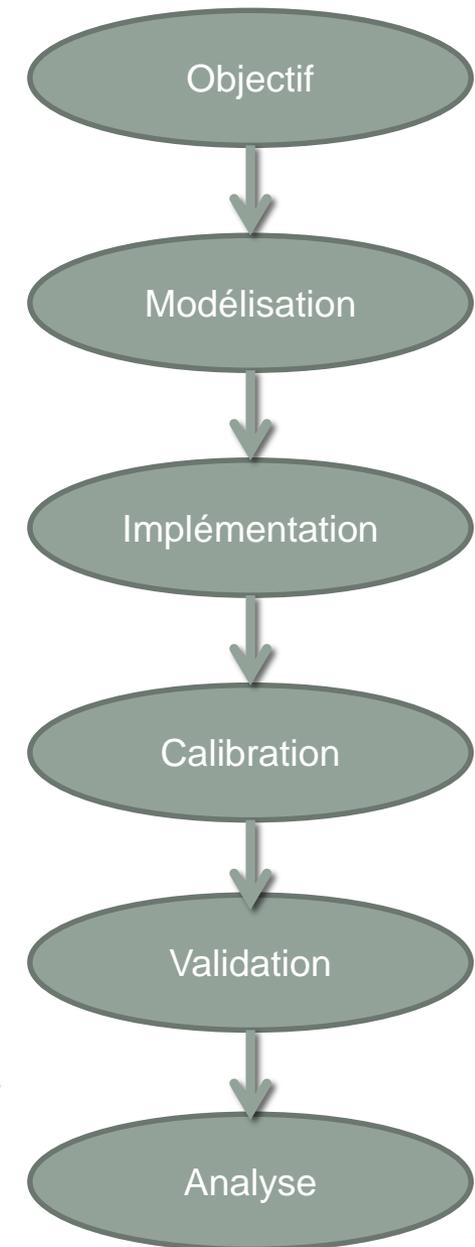
# Objectif d'une SBA

- Exemples:
  - Prévoir une diffusion de virus
  - Optimiser la forme d'un stade
  - Comprendre les propriétés de la méthode de recrutement des maitres de conférences
- 3 types d'objectifs principaux
  - Positifs: Expliquer le monde
    - Pourquoi l'évacuation prend si longtemps?
  - Normatif: Définir comment le monde devrait être
    - Comment changer le stade pour que l'évacuation soit plus rapide?
  - Émergent: Décrire le monde
    - Est-ce que je peux observer des structures de groupes qui se forme lors de l'évacuation?
- Dans notre cas:
  - Comprendre pourquoi de la ségrégation se crée alors que les habitants sont tolérants



# Modélisation

- Principe KISS: Keep It Simple, Stupid!
  - Minimum d'hypothèses et de paramètres
  - Ajout progressif d'hypothèses pour enrichir le modèle au cours de l'analyse
- Intérêt
  - La calibration d'un petit nombre de paramètres est possible
  - L'exploration de l'espace des paramètres est plus facile
  - Le modèle est compréhensible
- Les valeurs agrégées doivent être réalistes, pas les comportements individuels



# Modélisation: exemple

- Environnement
  - Spatial uniforme carré  $n*n$ , carte réelle pour la calibration
  - $M$  agents
- Agent
  - Couleur  $c$  , position  $x,y$
  - Les agents a une distance  $<d$  sont les voisins
  - Si (nb voisins identiques  $<p\%$ )
    - Alors bouger(emplacement aléatoire)

# Modélisation

- Modèle d'environnement:
  - Environnement spatial/virtuel
  - Ensembles des variables de l'environnement
- Modèle d'agent
  - Définition de l'objectif: agents rationnels
    - Choix des fonctions d'utilité et de leur paramètres
  - Définition du comportement: agents réactifs
    - Algorithme de raisonnement / de comportement
    - Diagramme d'état/d'activité
    - Réseau de Pétri
  - Définition du graphe et de modalités d'interaction
    - Qui peut interagir avec qui et comment
    - Type de réseau
    - Ordre des interactions

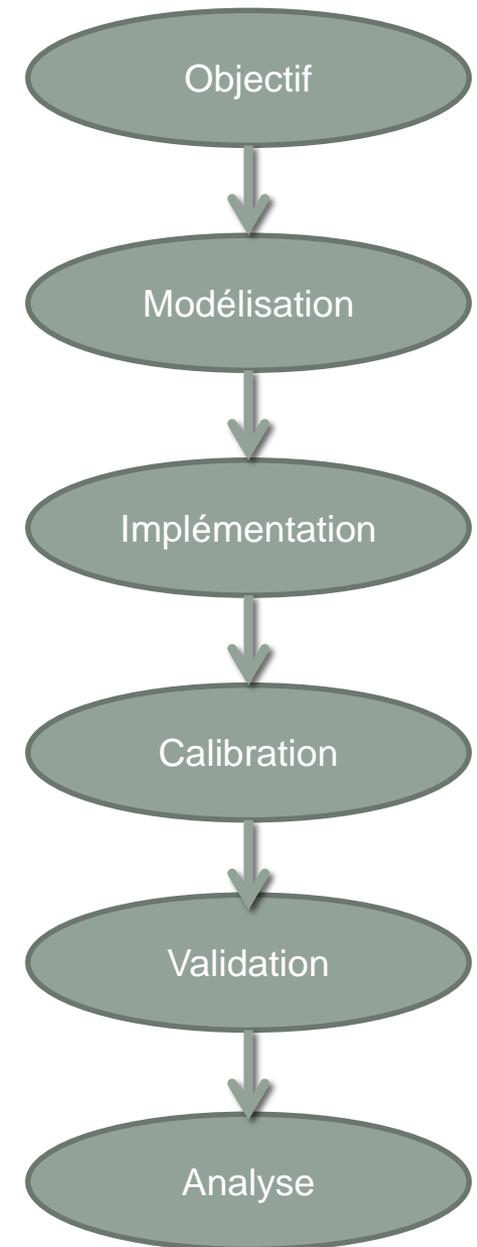
# Implémentation

- Plateforme

- Repast
- Gama
- NetLogo
- ...

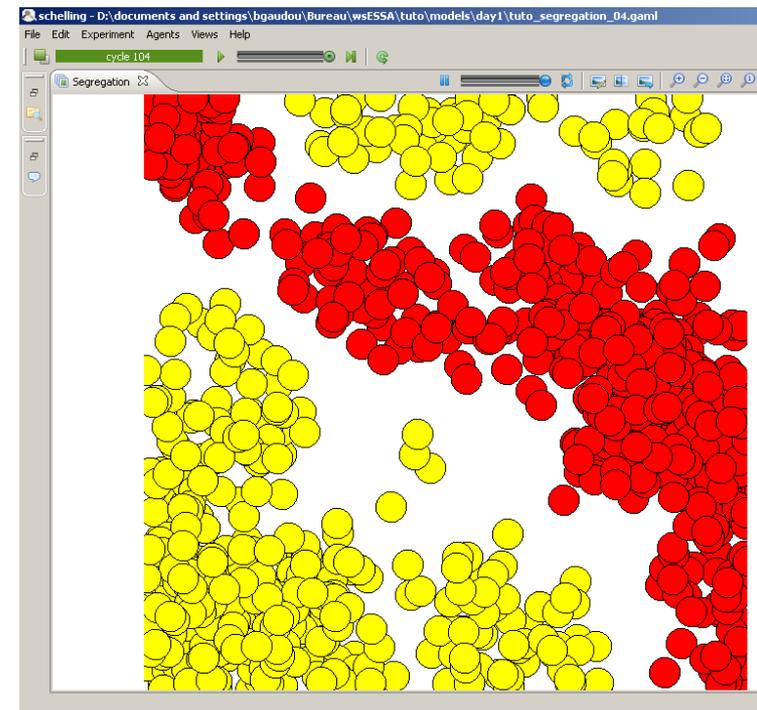
- Principes

- Garder un maximum de paramètres définissable dans un fichier de configurations
- Enregistrer un maximum de variables individuelles/agrégées dans des logs

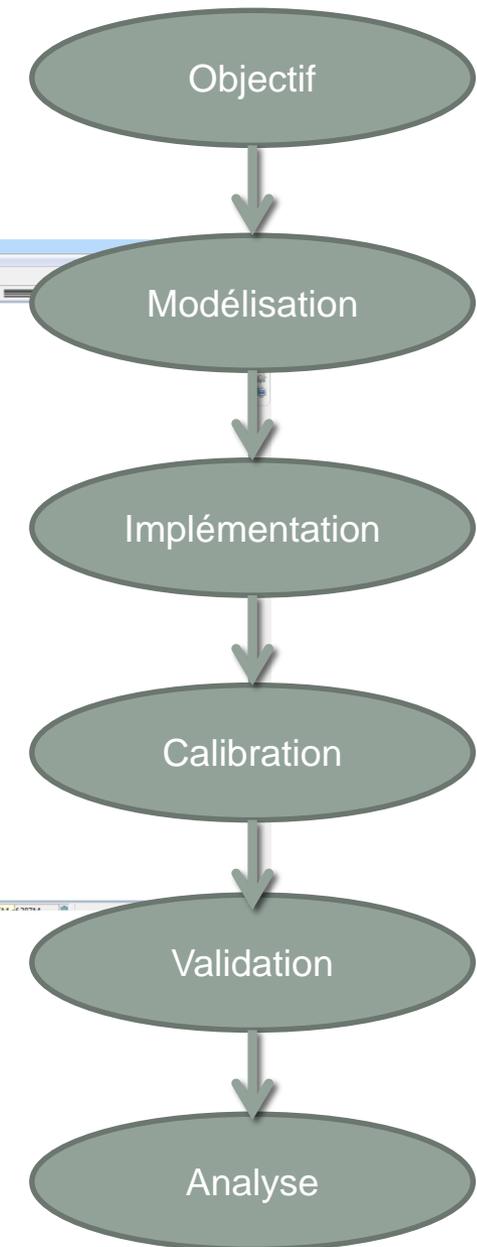


# GAML

- `state toinit initial: true {`
- `transition to: iamhappy { do update_state; }`
- `}`
  
- `state iamnothappy {`
- `do move;`
- `do update_state;`
- `transition to: iamhappy when: (!not_happy);`
- `}`
  
- `state iamhappy {`
- `do update_state;`
- `transition to: iamnothappy when: (not_happy);`
- `}`

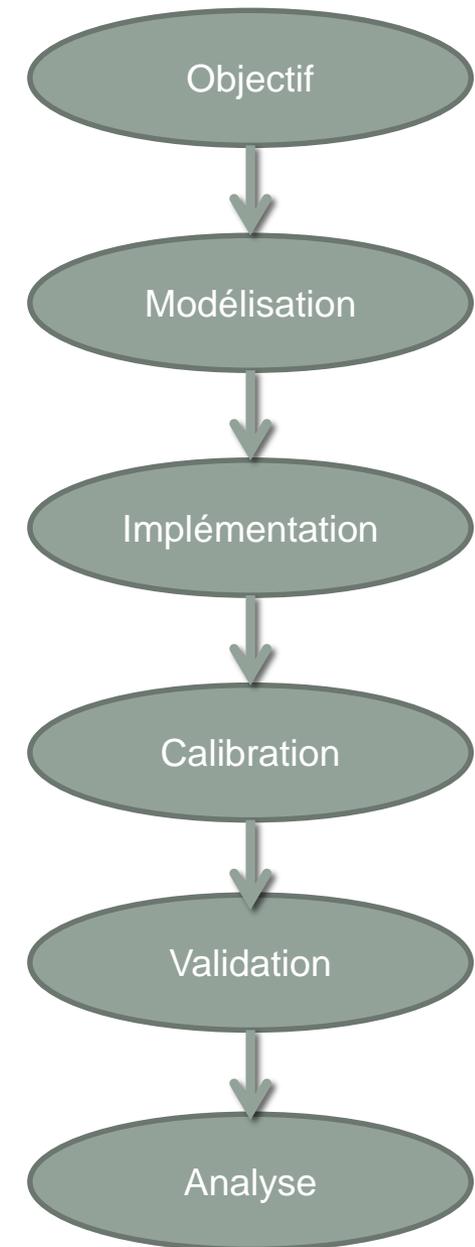


# Calibration



# Calibration

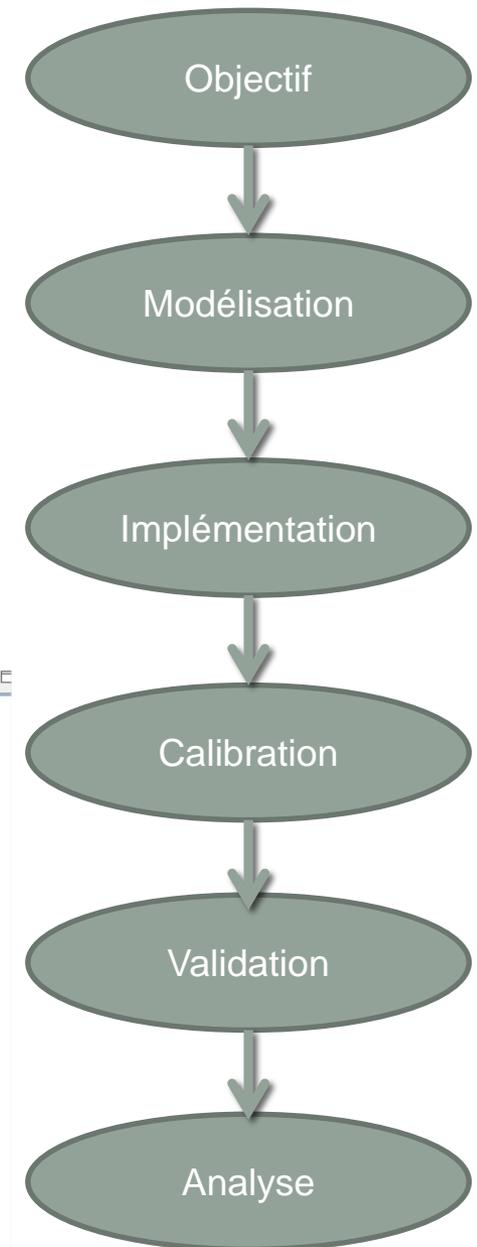
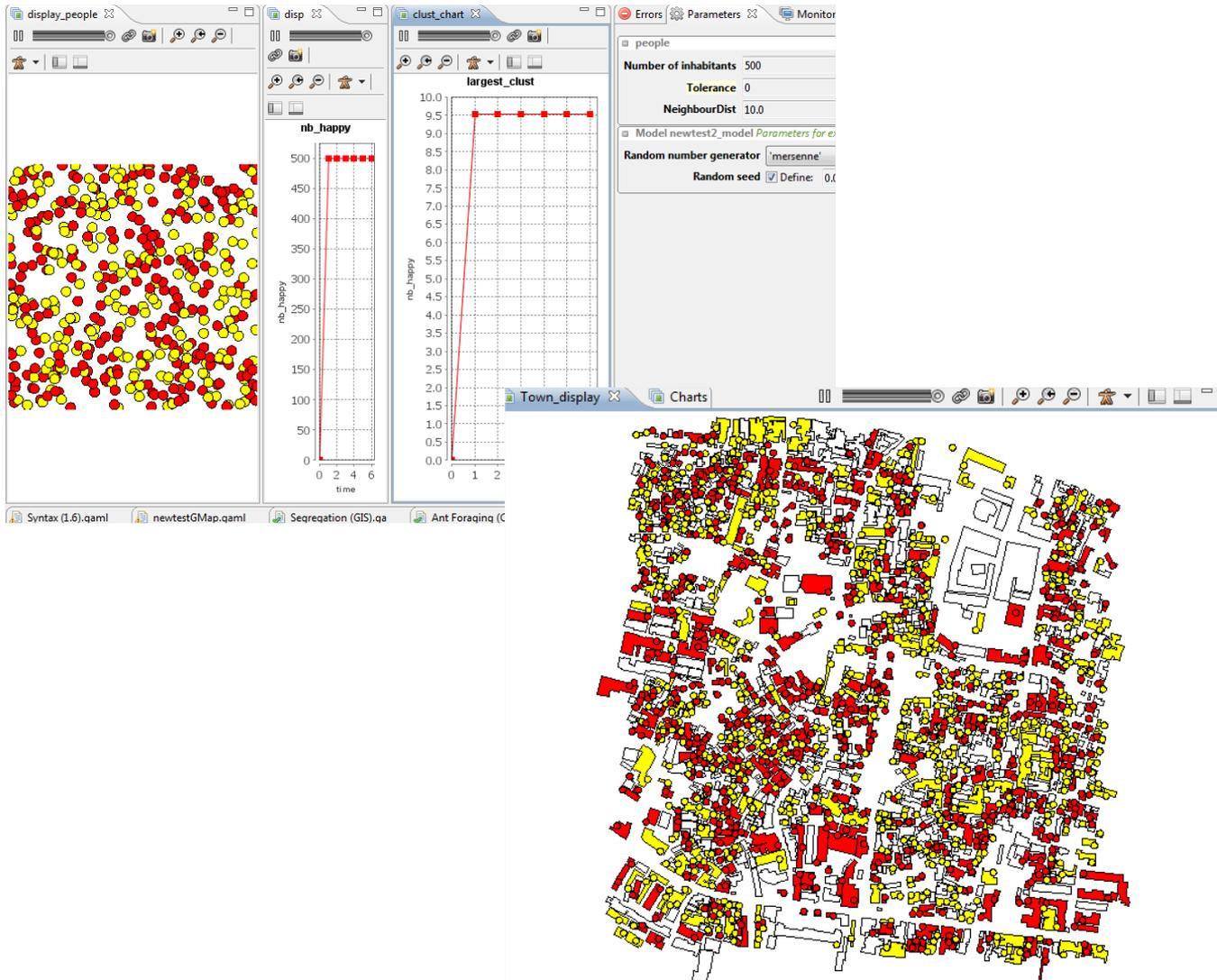
- Choisir les valeurs des paramètres
  - Les paramètres doivent être conformes à la réalité empirique
  - La calibration se situe à deux niveaux:
    - individuel (paramètres des agents)
    - Environnement (paramètres globaux)
  - La conformité des variables agrégées à la réalité empirique sera étudiée lors de la validation.
- Sources:
  - Données empiriques
  - Littérature
  - Expert
- Définition de scénarios
  - Scénarios de tests pour vérifier/comprendre le modèle
  - Scénarios réels
- Problèmes:
  - Les variables comportementales / psychologiques sont particulièrement difficiles à calibrer de façon objective



# Calibration: exemple

- 2\*2 scenarios de test/compréhension:
  - 10\*10
  - 30\*30
  - 2 populations
  - Répartition de départ: aléatoire/damier
- 2 scenarios sur données réelles
  - 2 cartes google maps
  - Répartition aléatoire
  - 2 populations

# Validation



# Validation

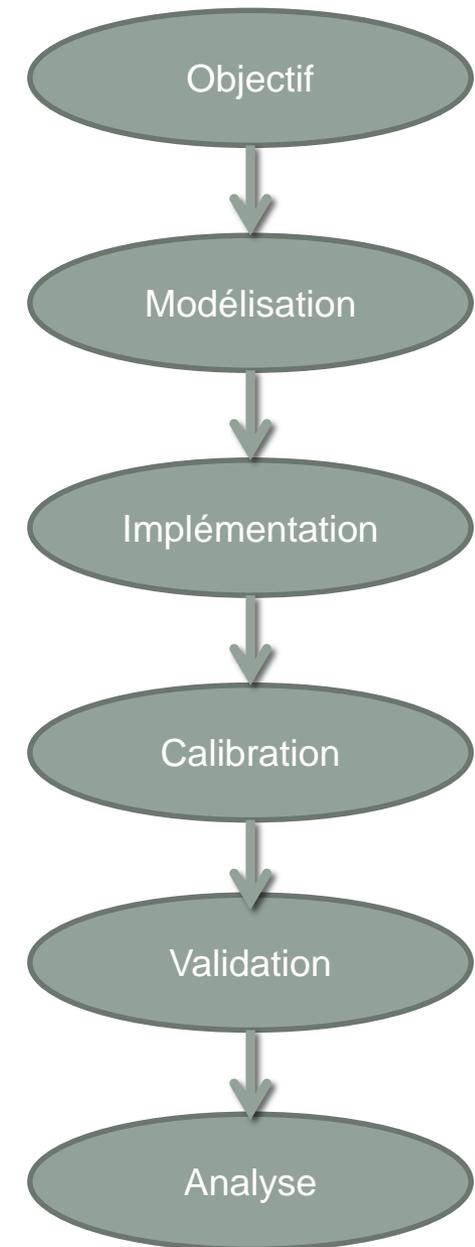
- 2 types de validations:

- Validité externe des résultats / hypothèses

- Les hypothèses/règles/faits décrits par le modèle sont conformes à la réalité empirique.
- Exemple:
  - Les prix moyens simulés par une simulation de marché sont conforme aux prix observés.
- Ma simulation est-elle un reflet correcte de la réalité?

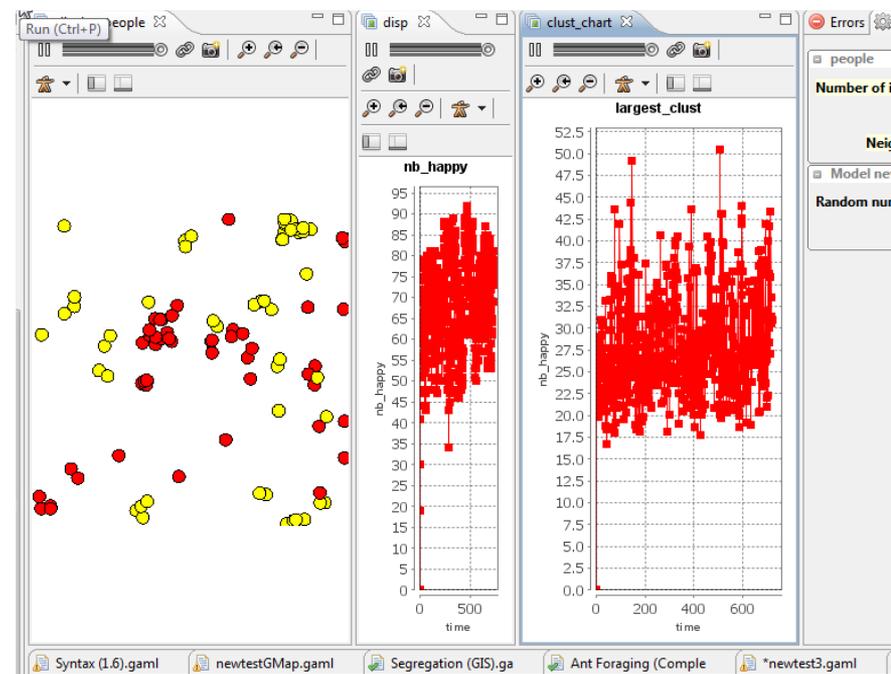
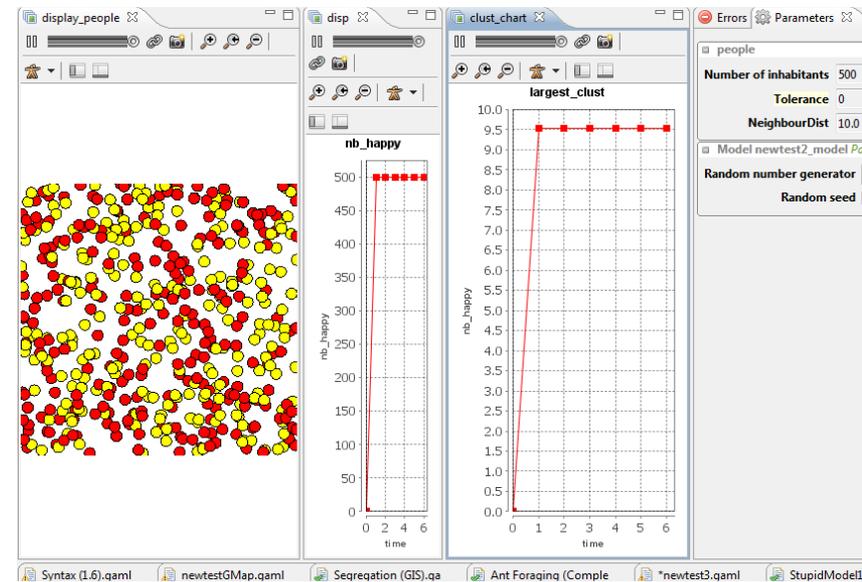
- Validité interne des résultats

- Mes résultats ne sont-ils pas juste le fruit du hasard?
- Ma simulation correspond-elle bien à mon modèle?
- Les règles/faits décrits sont vrais sous réserve que les hypothèses du modèles sont vraies.
- Exemple:
  - Simulation de conflit troll/hobbit. Les trolls ont plus de 80% de chance de l'emporter et le paramètre le plus important est le nombre d'anneaux magiques.



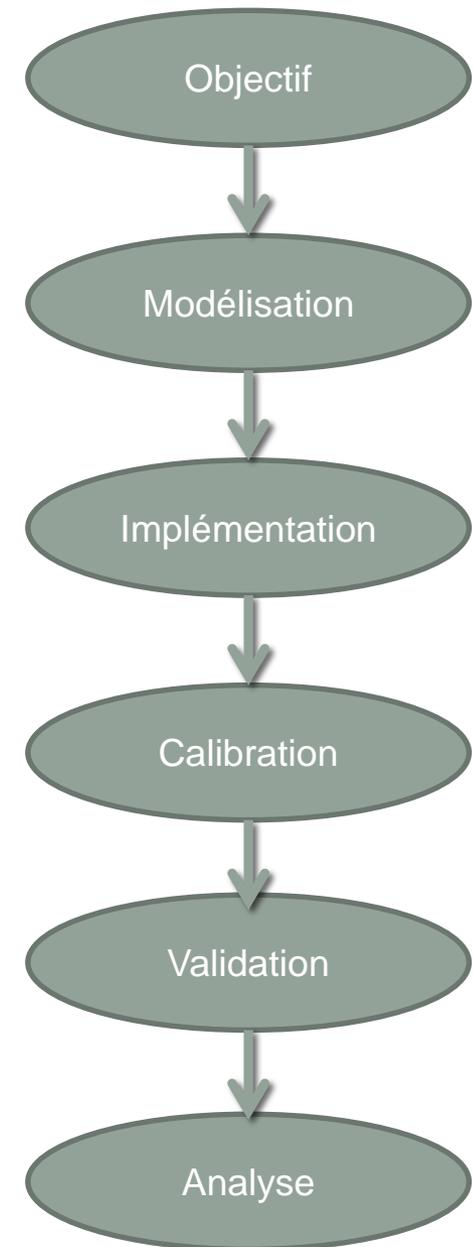
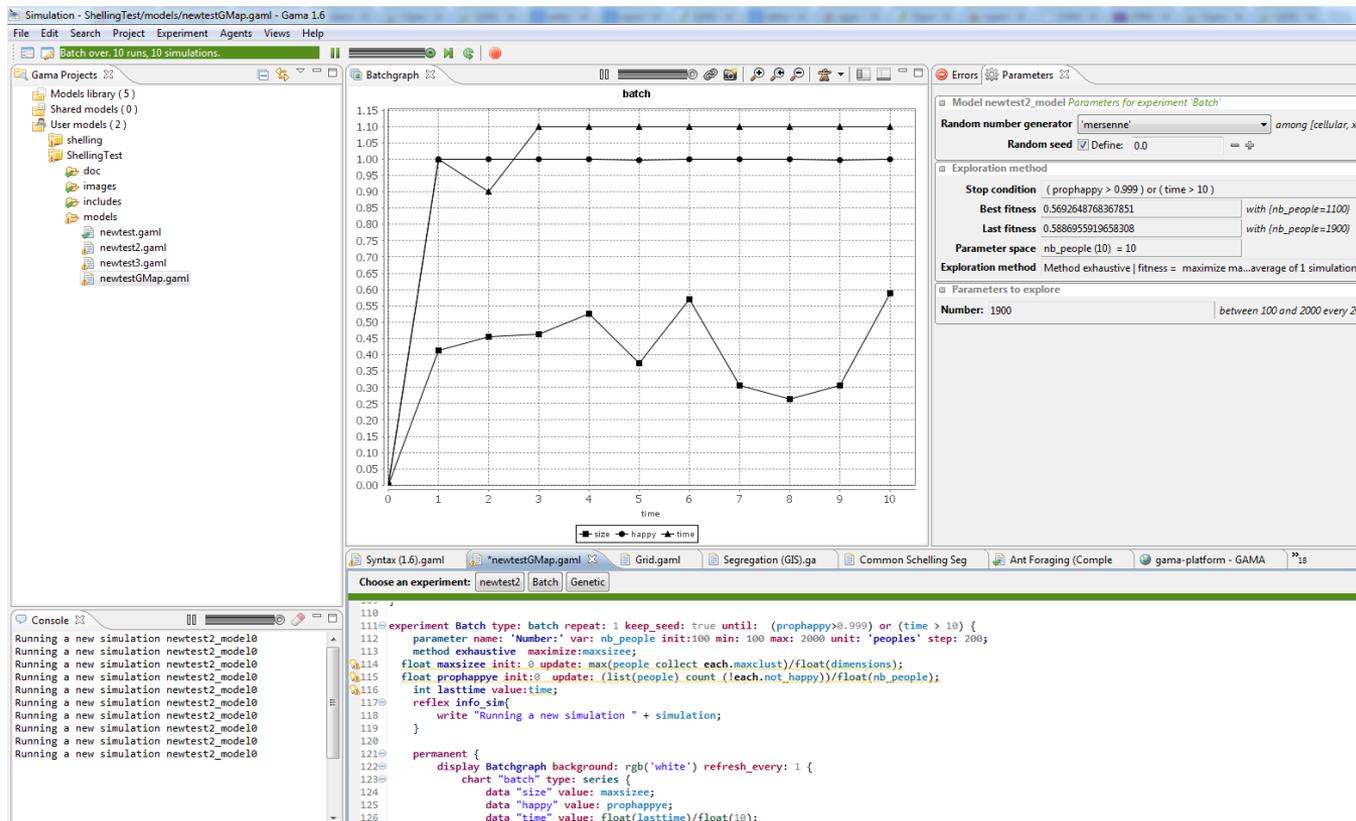
# Validation interne

- Mes résultats ne sont-ils pas juste le résultat du hasard?
- Ma simulation correspond-elle bien à mon modèle?
- Méthodes:
  - Validation mathématique
    - Démontrer par une analyse mathématique que les propriétés découlent des hypothèses
  - Scénarios de tests
    - Configurations des paramètres avec des valeurs extrêmes pour tester le fonctionnement cohérent du modèle dans des cas prévisibles.
  - Tests statistiques
    - Reproduction de l'expérimentation avec des paramètres différents afin d'obtenir suffisamment de résultats pour réaliser un test statistique



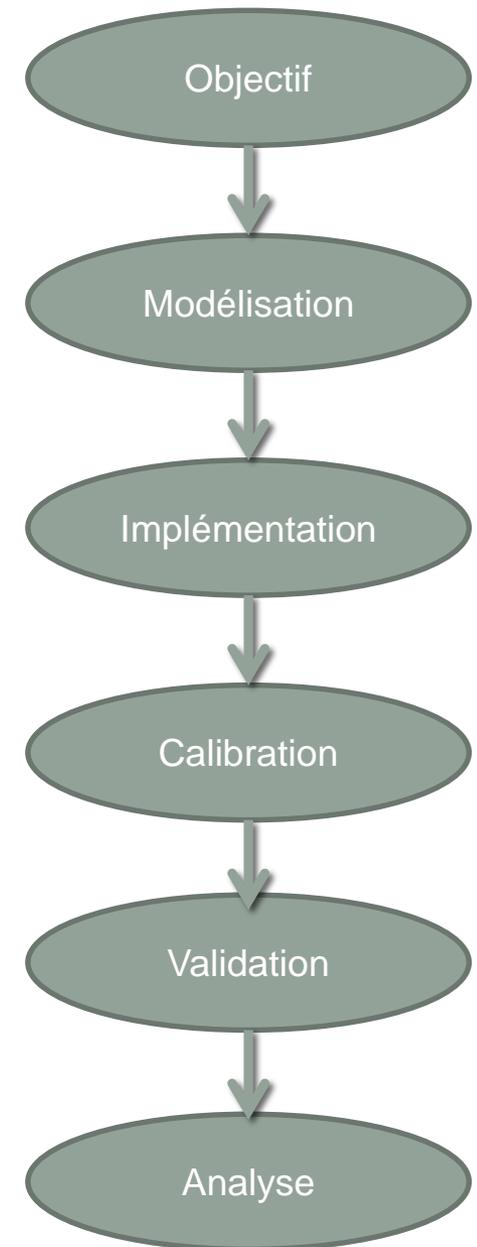


# Analyse



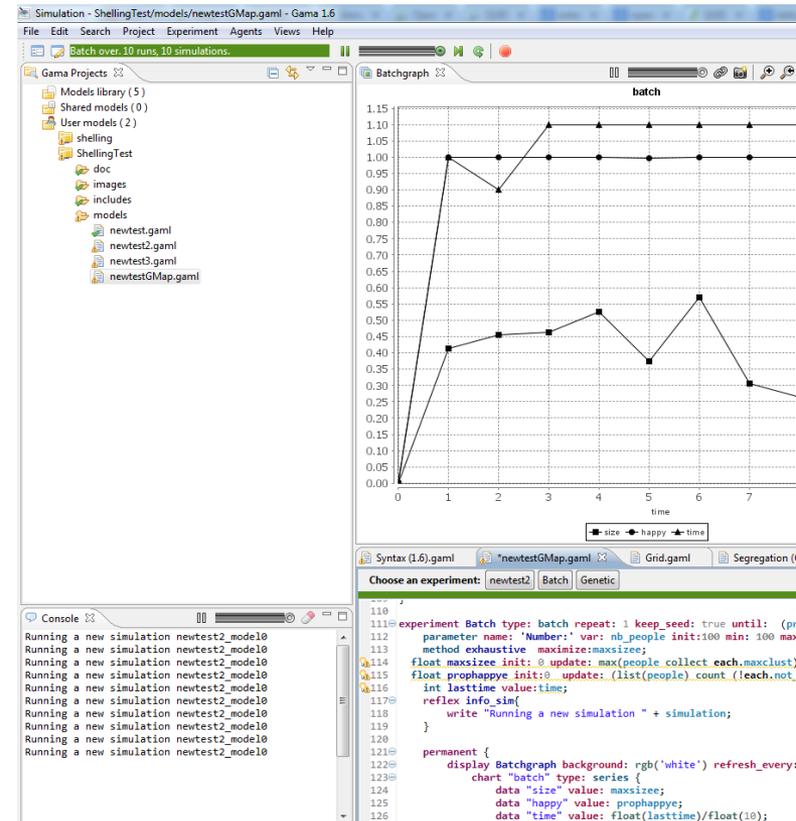
# Analyse

- Dépend de l'objectif
- Positif
  - Variables explicatives
- Normatif
  - Optimisation
- Émergence
  - Clustering/analyse automatique



# Analyse

- Objectif positif: comprendre et expliquer l'existant
- Solution:
  - Tests d'interdépendance / de corrélation entre variables et paramètres. Analyse de sensibilité.
  - Ex: je veux expliquer le temps moyen pour rentrer dans une station de métro.
    - Test d'interdépendance (Chi2, ...) pour savoir quels sont les paramètres qui influencent la variable
    - Calculs de régression et analyse de sensibilité pour déterminer l'impact de chacune des variables
  - Pour chacun des tests, au moins trois cas. Pour chacun des cas, réaliser un nombre d'expériences suffisant pour que les tests soient significatifs. (dans le doute, 1000 au moins si le temps de calcul le permet)
    - Toute chose égale par ailleurs (tous les autres paramètres fixes)
    - Pour des valeurs raisonnables (tous les autres paramètres variant autour de l'équilibre)
    - Quel que soit les autres valeurs (tous les autres paramètres variant de façon aléatoire dans leur espace de définition)



# Exemple de test: Chi-deux

Taille de l'espace NbGroupesFin\	30*30	50*50	Total ( <b>Fi</b> )
2	1081	725	1806 (19%)
3	4234	3173	7407 (81%)
Total ( <b>Fj</b> )	5315 (57%)	3898 (43%)	9213

Taille de l'espace NbGroupesFin\	30*30	50*50	Total
2	1041	764	1806 (19%)
3	4273	3133	7407 (81%)
Total	5315 (57%)	3898 (43%)	9213

Fi x Fj

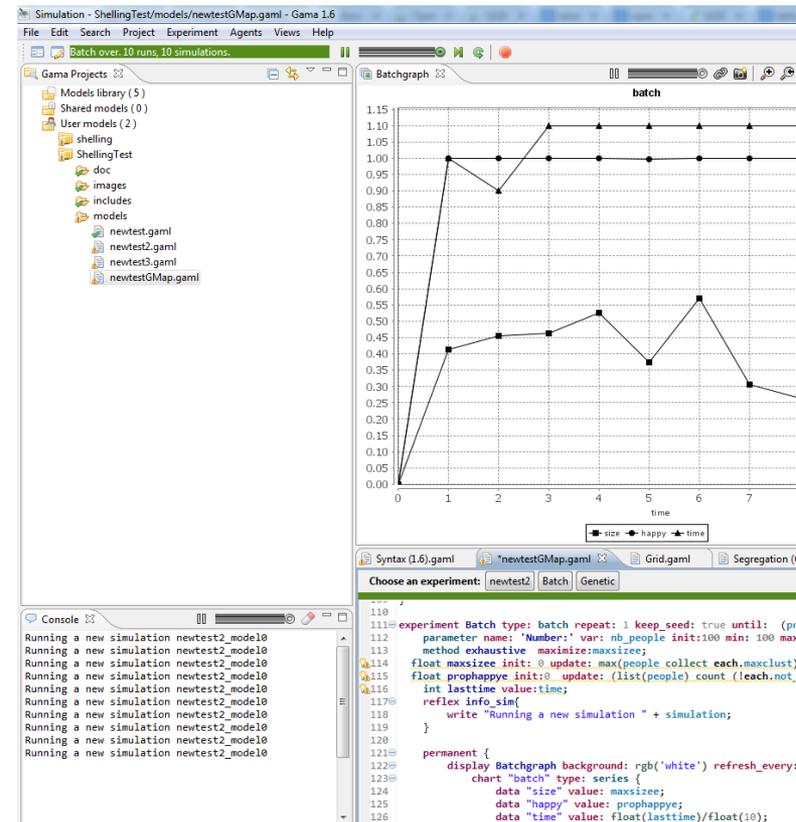
- Test de H0: Xi et Xj sont indépendantes
- Principe: comparaison de la distribution observée et de la distribution théorique
- Degrés de liberté: (nb classes i-1)(nb classes j-1)
- $X^2=4,317$  a comparer à  $\text{Chi}^2(\text{DL}, \text{seuil})$
- $\text{Chi}^2(1;0,95)=3,84$ .  $\text{Chi}^2(1;0,99)=6,63$

$$X^2 = \sum_{t,t'} \frac{(n_{tt'}^{12} - e_{tt'}^{12})^2}{e_{tt'}^{12}}$$

- Avantage: pas d'hypothèse sur le type de variable
- Critère de validité: toutes les population théoriques  $>1$  et  $>3$  dans 80% des cas

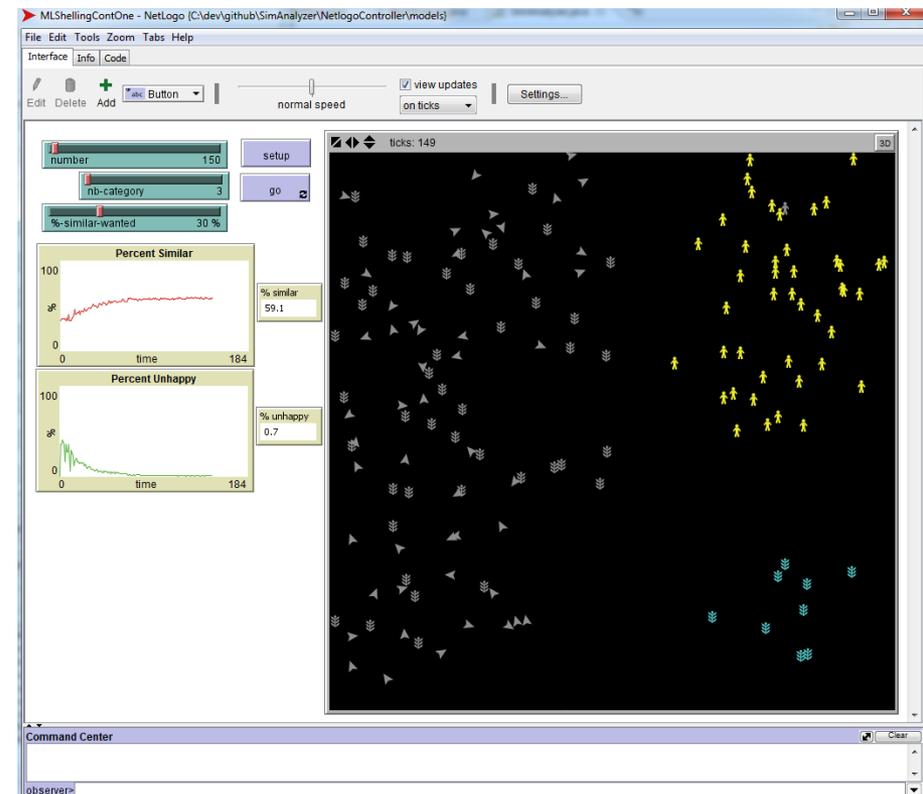
# Analyse

- Objectif normatif: dire ce qui devrait être
- Solution
  - Faire une recherche guidée dans l'espace des paramètres
  - Si l'espace est très grand et non linéaire, utilisation possible d'algorithmes génétiques.
  - Ex: quelle est la meilleure configuration de station de métro pour le temps d'attente moyen à l'entrée?
    - Recherche dans l'espace des paramètres définissant la forme de la station pour minimiser le temps d'attente.
      - En faisant une exploration exhaustive de l'espace si il est suffisamment faible (quelques configurations possibles, définies par l'expert). Test de scénario.
      - Avec une optimisation classique (descente de gradient, ...) si l'espace est suffisamment linéaire (à tester et vérifier qu'on n'obtient pas un minimum local)
      - Avec un algorithme génétique si les solutions précédentes ne fonctionnent pas



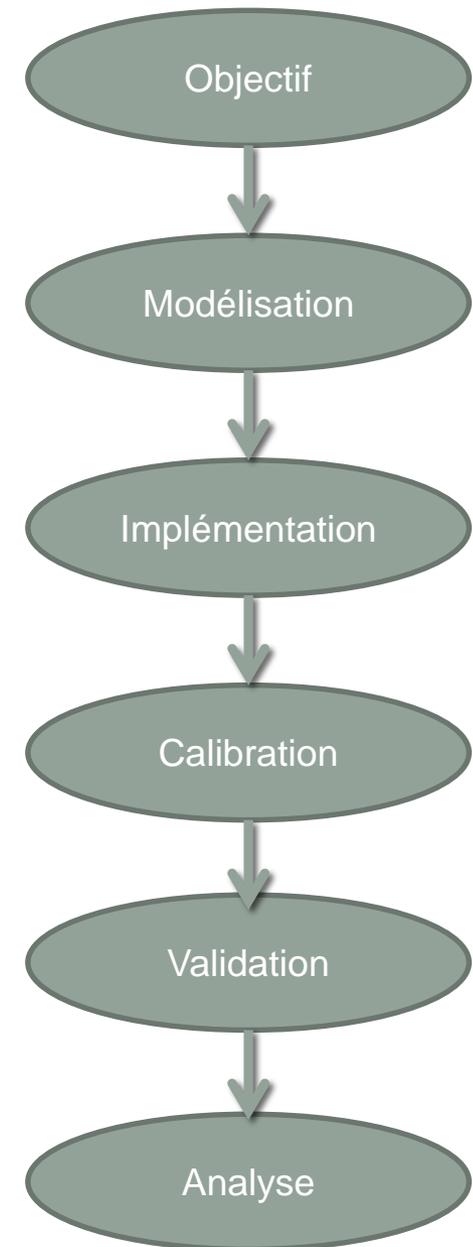
# Analyse

- Objectif d'émergence : décrire ce qui se passe
- Émergence:
  - Concept flou [Dessalles et al. 08]
  - Émergence forte:
    - Le niveau supérieur (émergent) a un impact sur le niveau inférieur (les agents)
    - Le phénomène macro émergent ne peut se réduire à ses composants micro
- Solution
  - Dépend fortement du problème analysé
  - Possibilité: algorithme de clustering pour identifier des groupes homogènes dans les agents



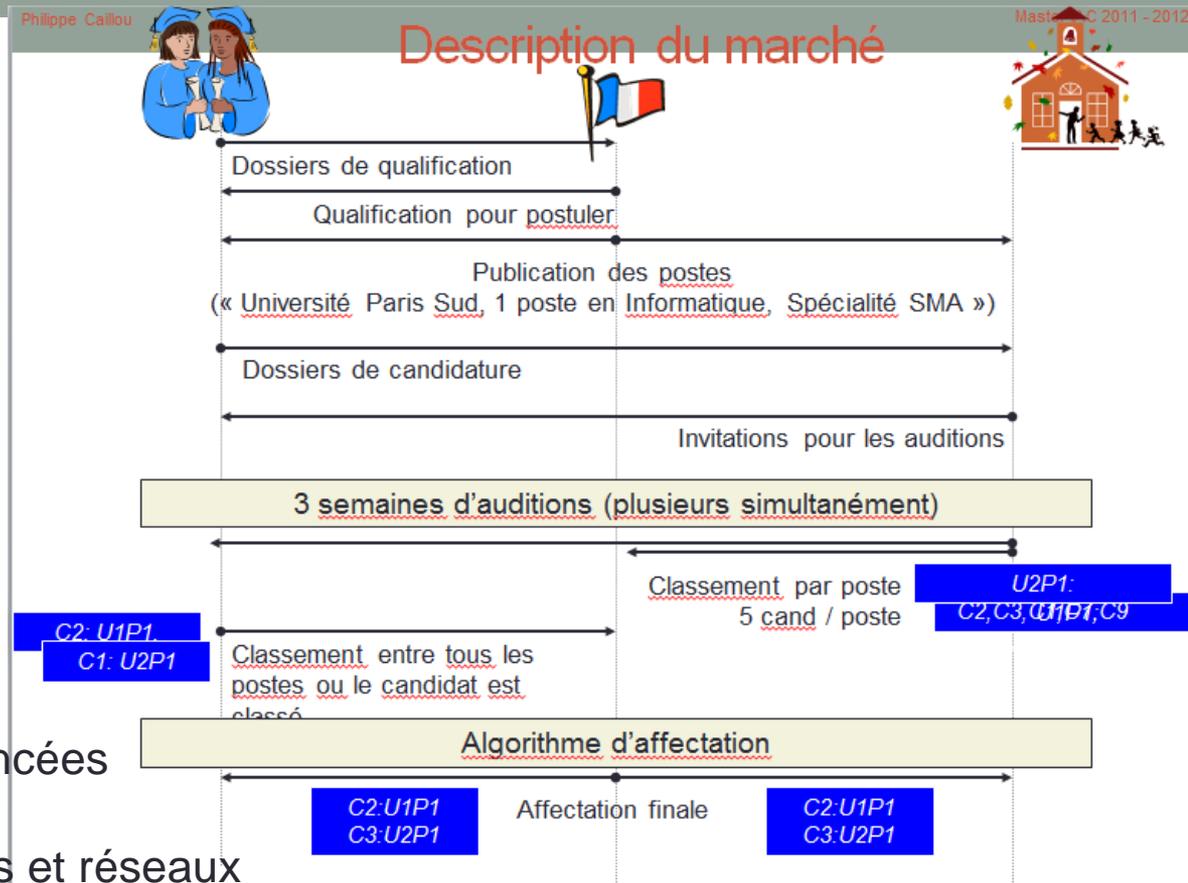
# Conclusion

- Mon modèle est-il intéressant?
- Critères d'évaluations possibles [Legay 73]
  - Utilité du modèle: Ensemble des résultats et succès produits par le modèle.
  - Simplicité: Critère de parcimonie. (ce n'est pas une qualité mais une propriété)
  - Non-contradiction: Le modèle respecte les relations observées (non réfutation du modèle)..
  - Fécondité: Conséquences non prévues que le modèle entraine (l'utilité concerne les conséquences prévues).
  - Convergence: Le modèle a été validé par de nombreuses utilisations/implémentations différentes.
  - Stabilité: Le modèle est insensible aux facteurs secondaires.
  - Non identité: Le modèle n'est pas conforme à son objet d'étude (plus simple et utilisable).



# MABS

- Introduction
- **KISS et l'ACE**
  - Démarche
  - Exemple 1
  - Exemple 2
- KIDS
- Calibration et validation avancées
- Modélisation des interactions et réseaux
- Outils d'analyse et de génération de population
- Plateformes de simulation
- Modélisation participative



*Simulation du recrutement des maitres de conférence en France [Caillou and Sebag 08,09]*

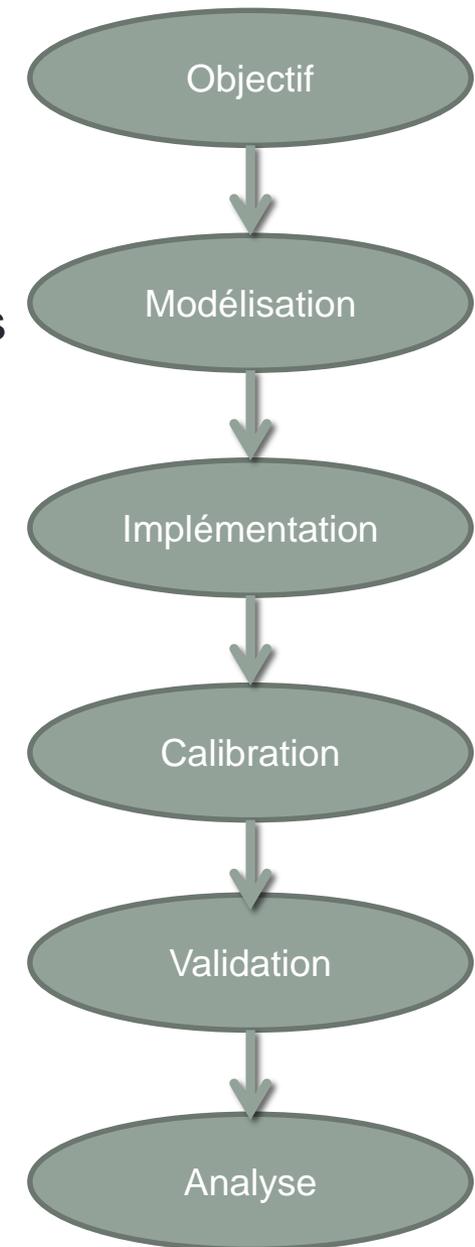
# Objectif

- Contexte

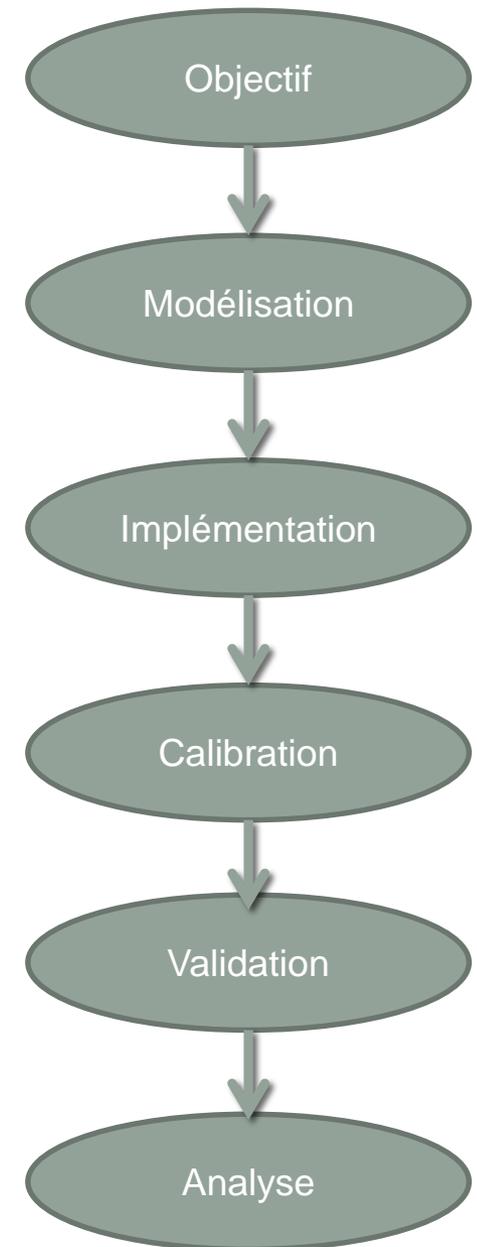
- Marché du recrutement des maitres de conférences en France
- Une procédure complexe semi-centralisée
  - Dossiers envoyés directement aux universités et auditions/décisions locales
  - Une phase de présélection et un algorithme d'affectation final nationaux
- Plusieurs études soulignant et critiquant le fort taux de recrutement local [Freville 02] [Godechot et al. 08], mais peu d'analyse des propriétés de la procédure elle-même.

- Objectif

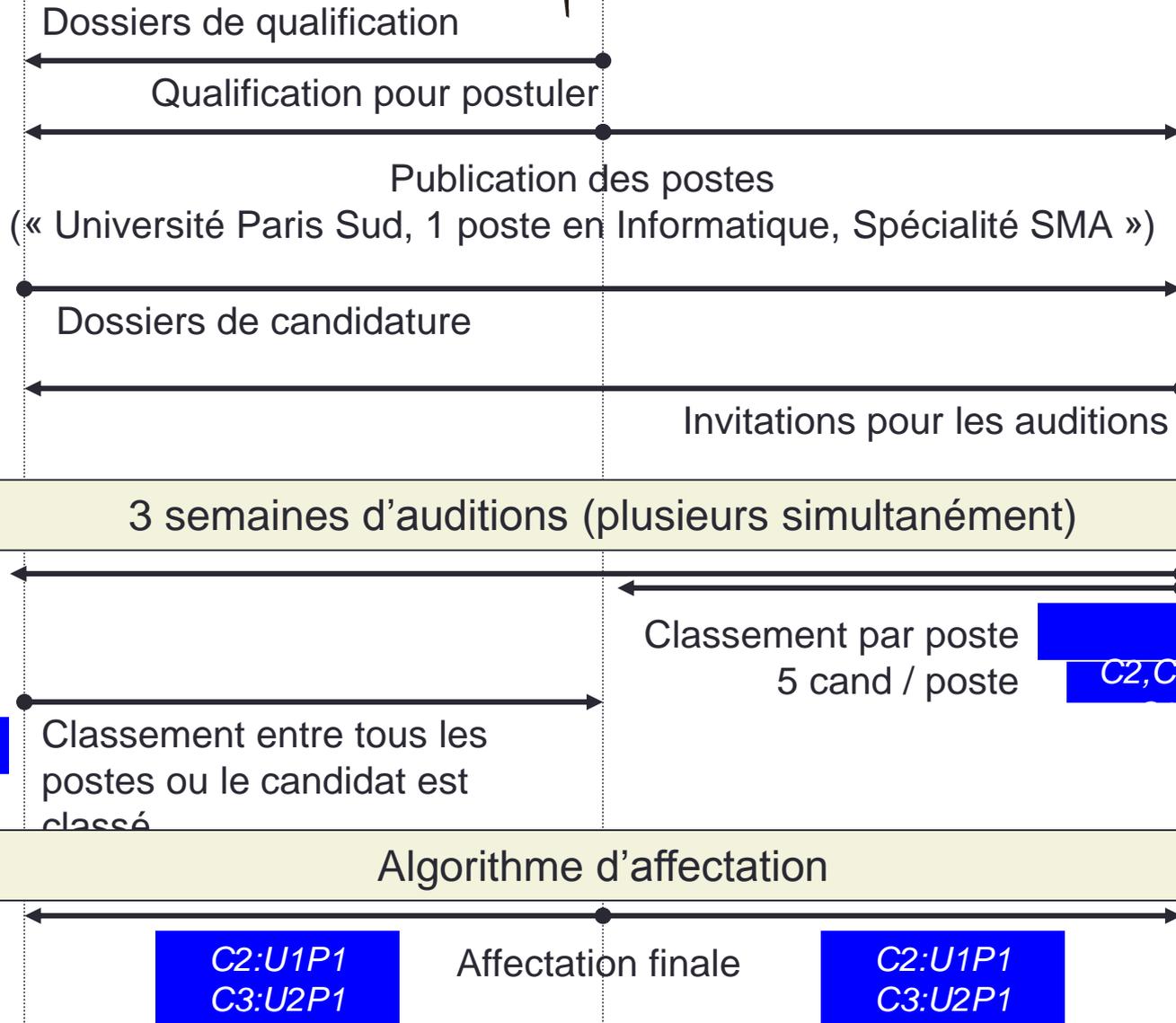
- Étudier les propriétés de la procédure, et en particulier expliquer le recrutement local
- Proposer des modifications permettant d'améliorer la procédure



# Modèle

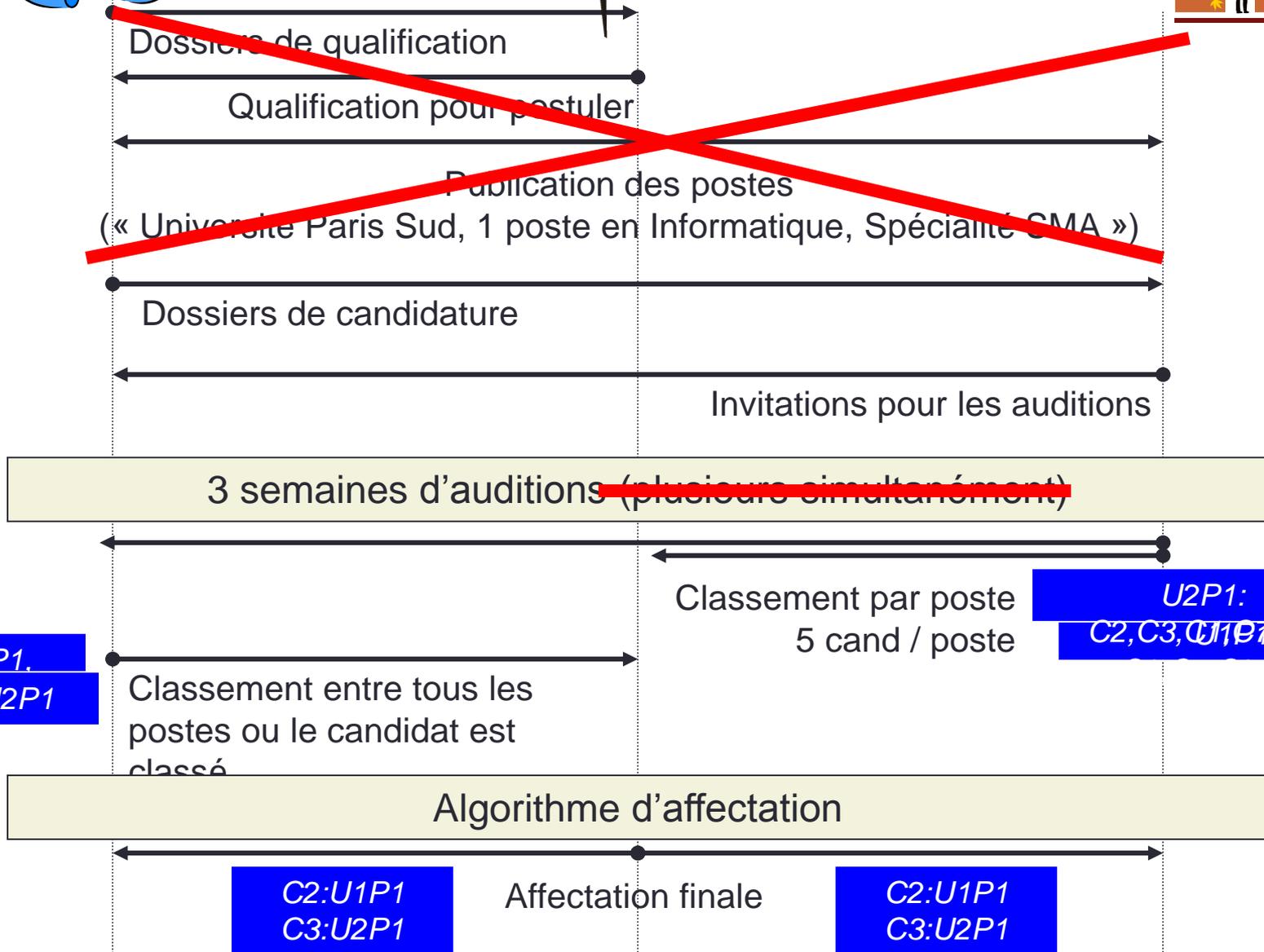
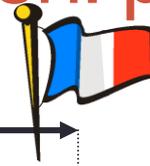


# Description du marché





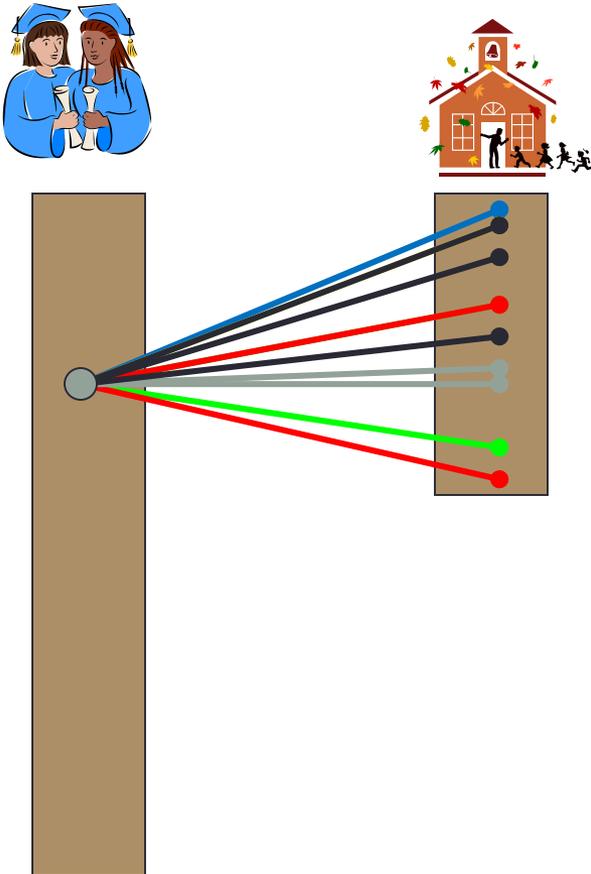
# Modélisation: principe KISS



# Hypothèses

- Simplifications
  - 1 poste par université
  - Pas de profil de poste
- La plus contestable:
  - Il existe un ORDRE TOTAL sur les candidats et sur les universités

# Modèle des candidats



## Preferences

Elitism

( $\times$  rang de l'université)

Locality

( $\times$  distance à l'université d'origine)

Individual Preferences

( $\times$  bruit)

## Decision

Risk/Speculation

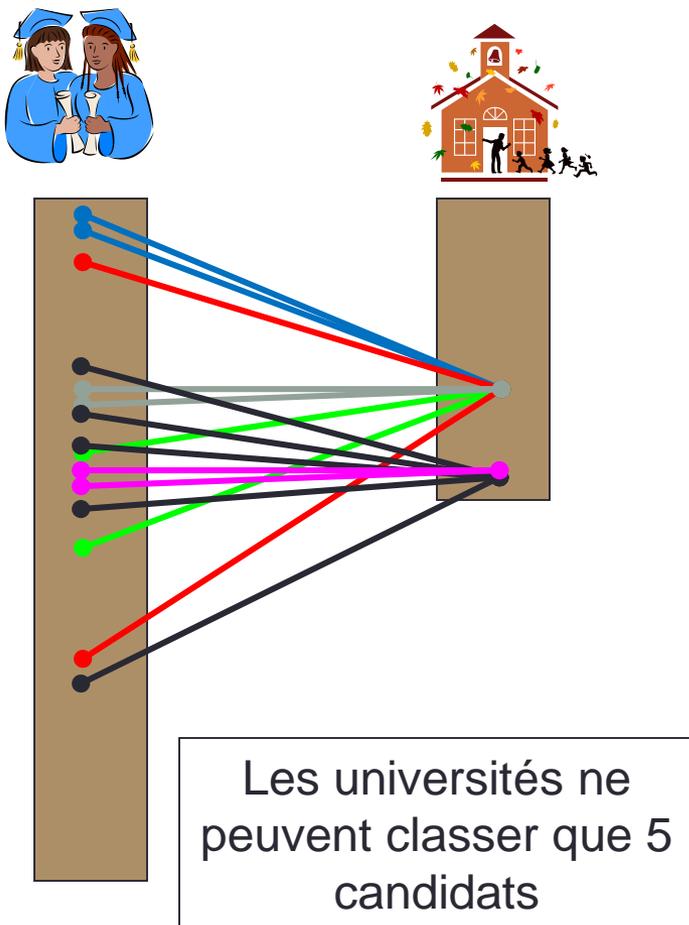
( $\times$  différence de rang candidat-université)

(1-r) Preference + r Risk

$$q(i, t) = e_i \times \frac{t}{\#U} + l_i \times d(C_i, U_t) + (1 - e_i - l_i) \times V$$

$$s(i, t) = r_i \times q(i, t) + (1 - r_i) \times \frac{|i - t|}{\#C}$$

# Modèle d'université



## Preferences

Elitism

( $\times$  rang du candidat)

Locality

(si le candidat est local)

Individual Preferences

( $\times$  bruit)

## Decision

Risk/Speculation

( $\times$  différence de rang)

Over/underestimation

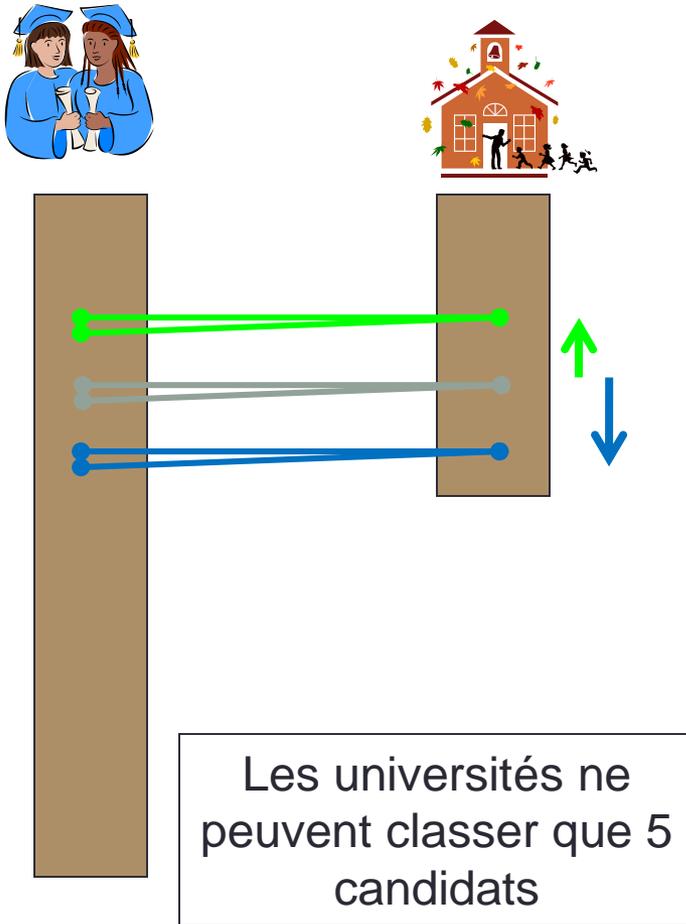
(+biais)

$r \cdot \text{Preference} + (1-r) \text{ Risk}$

$$r(i,t) = \left( e_t \times \frac{i}{\#C} + (1-e_t) \times V \right) (1-l_t \times \delta_{i,t})$$

$$s'(i,t) = r_t \times r(i,t) + (1-r_t) \times \frac{|i-(t+o_t)|}{\#C}$$

# Modèle d'université



## Apprentissage

Après chaque session:

Si non recruté

Biais d'Evaluation+1

Si recruté

Biais d'Evaluation-1  
Avec probabilité  $p_a$

$$r(i, t) = \left( e_t \times \frac{i}{\#C} + (1 - e_t) \times V \right) (1 - l_t \times \delta_{i,t})$$

$$s'(i, t) = r_t \times r(i, t) + (1 - r_t) \times \frac{|i - (t + o_t)|}{\#C}$$


 $C_1..C_i..C_{\#C}$ 

# Modèle: synthèse


 $U_1..U_j..U_{\#U}$ 

Nb dossiers  $N_i$   
 Elitism  $e_i$   
 Locality  $l_i$   
 Risk  $r_i$   
 Prob. Dossier local  $h_i$

Nb candidats  $\#C$   
 Nb. universités  $\#U$   
 MaxShortList

Nb. auditionnés  $N_j$   
 Elitism  $e_j$   
 Locality  $l_j$   
 Risk  $r_j$   
 Prob. Audition loc.  $h_j$



Auditions: choix des universités



$C_2: U_1, U_2$

$C_1: U_2$

Classement entre tous les postes ou le candidat est classé

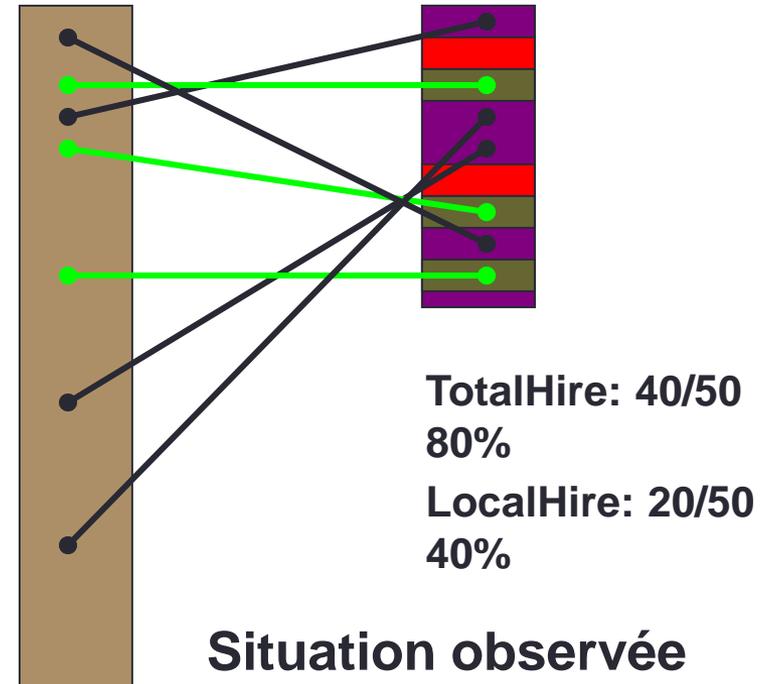
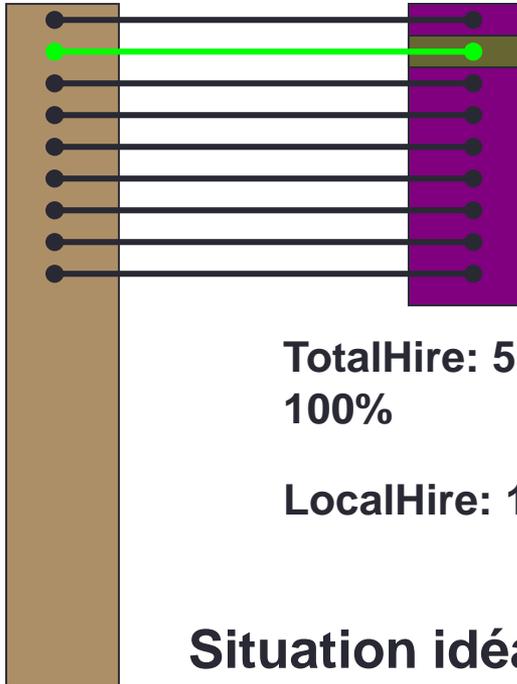
Algorithme d'affectation ([Baïou et al. 04])

$C_2: U_1$   
 $C_3: U_2$

Affectation finale

$C_2: U_1$   
 $C_3: U_2$

# Variables observées

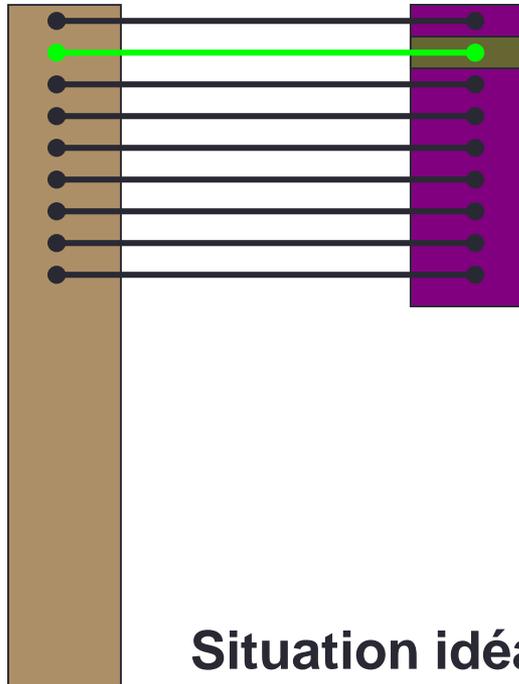


## Critère d'évaluation:

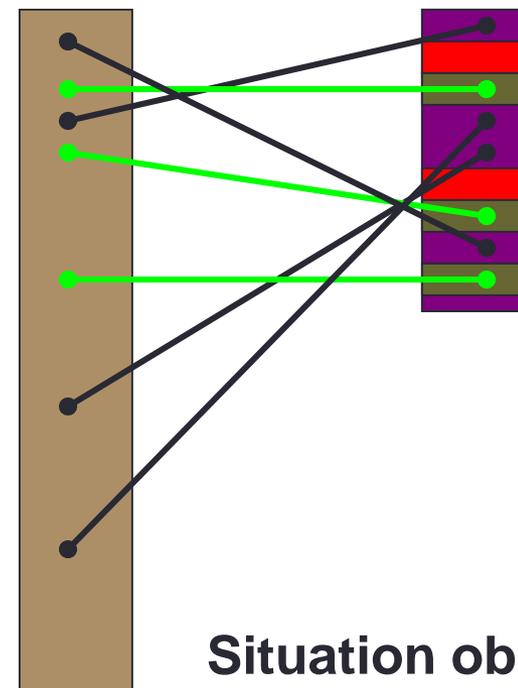
**TotalHire:** Nb de postes pourvus / Nb de postes

**LocalHire:** Pourcentage de candidats locaux parmi les candidats ayant un poste

# VARIABLES OBSERVÉES



Situation idéale



Situation observée

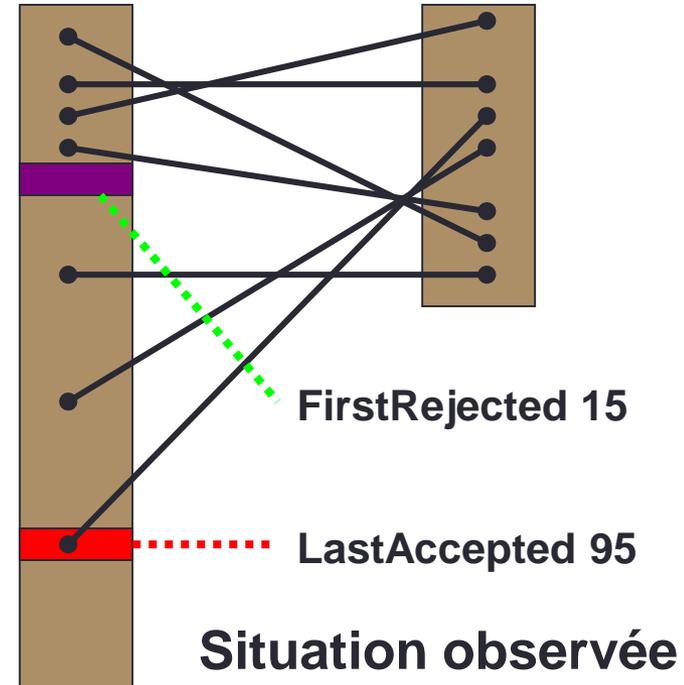
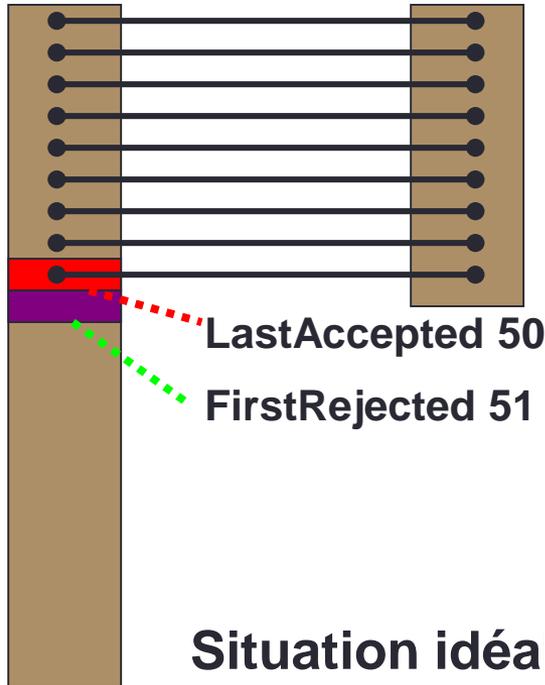
**Critère d'évaluation:**

**TotalHire:** Nb de postes pourvus / Nb de postes

**LocalHire:** Pourcentage de candidats locaux parmi les candidats ayant un poste

**FameLoss:** Rang du candidat recruté – rang de l'université

# VARIABLES OBSERVÉES



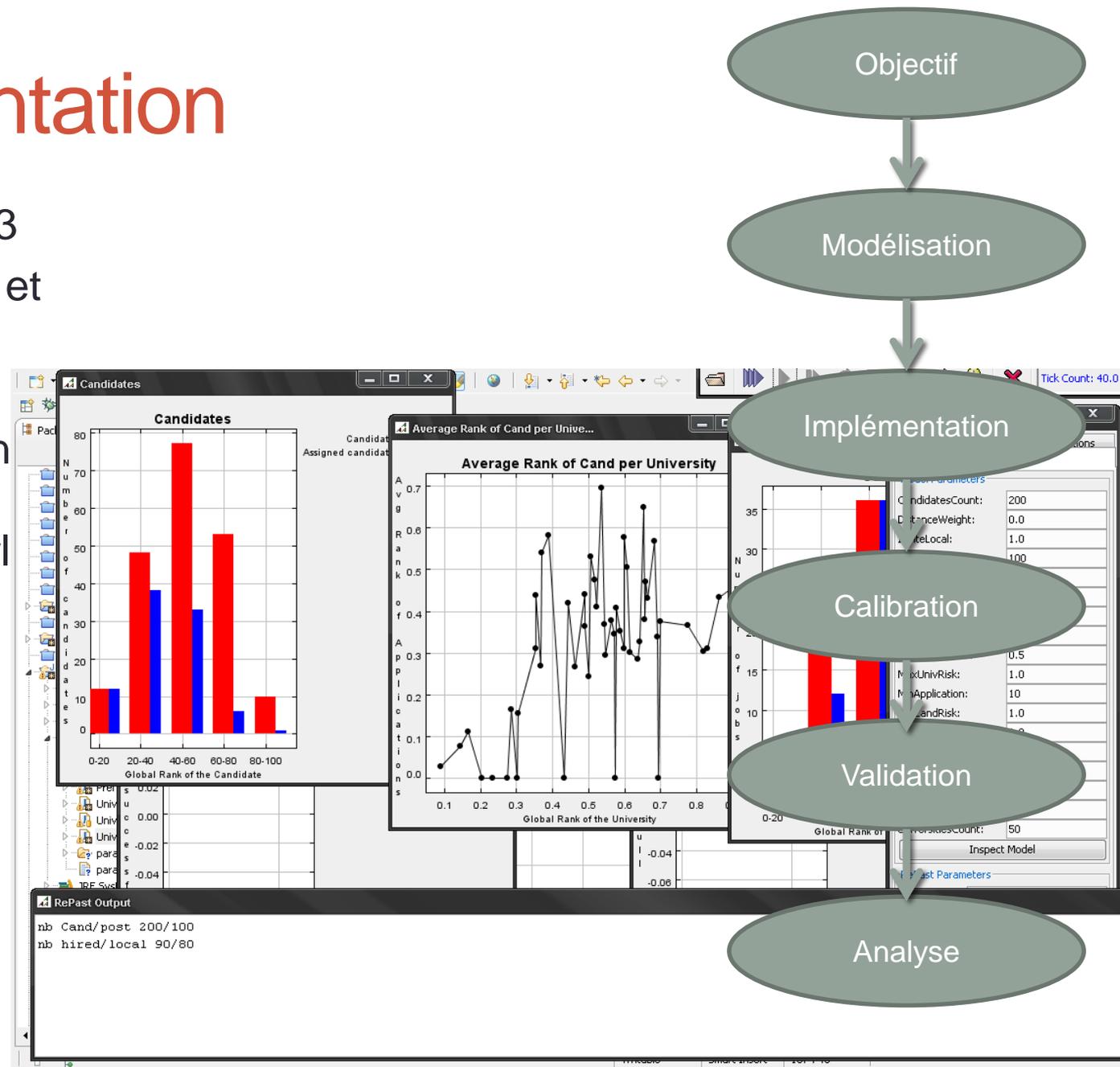
## Critère d'évaluation:

LastAccepted: Rang du dernier candidat recruté

FirstRejected: Rang de la première université qui n'a pas recruté

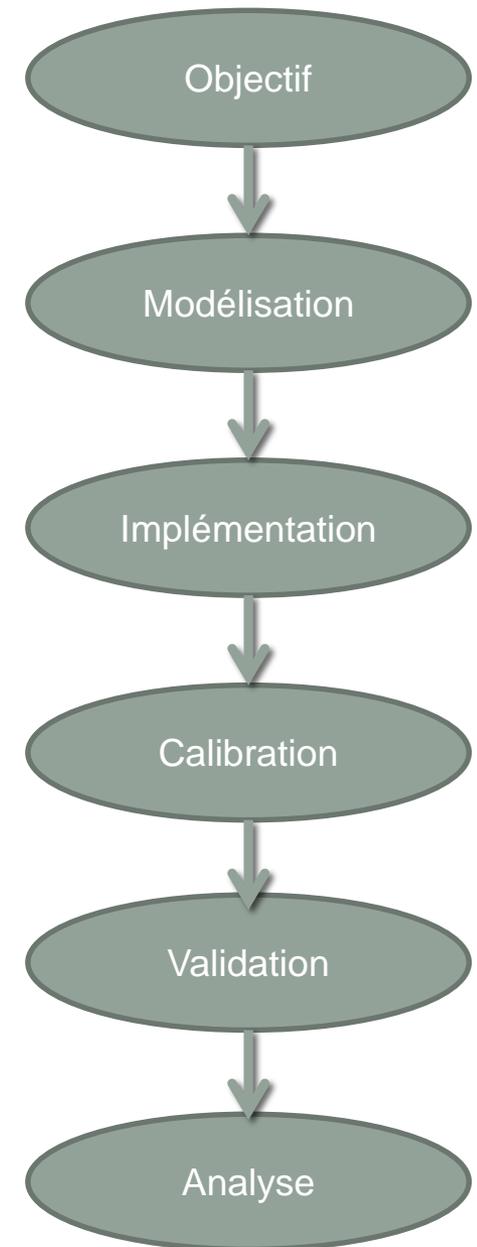
# Implémentation

- Plateforme RePast 3
- Un agent / candidat et université
- Fonctionnement synchrone coordonné par l'objet Environnement/World
- Par défaut, 1000 simulations par résultat



# Calibration

- Principales sources:
  - Données empiriques du ministère
  - Algorithme d'affectation étudié et décrit par [Baïou et al. 04]
  - Analyses sociologiques [Musselin 07, ...]
  - Experts du domaine



# Données empiriques

2007 first proc.	Total	Law and Manag.	Litterature	Science
candidates	9318	555	3135	5540
applications	76900	14896	27687	32986
positions	2110	324	695	1000
nbApp/pos	36,4	46,0	39,8	33,0
<b>nbApp/cand</b>	<b>8,3</b>	<b>26,8</b>	<b>8,8</b>	<b>6,0</b>
<b>nbCand/Pos</b>	<b>4,4</b>	<b>1,7</b>	<b>4,5</b>	<b>5,5</b>
% Total Hire	98%	94%	99%	99%
Local Hire	513	93	140	280
<b>% Local Hire</b>	<b>28%</b>	<b>37%</b>	<b>24%</b>	<b>28%</b>

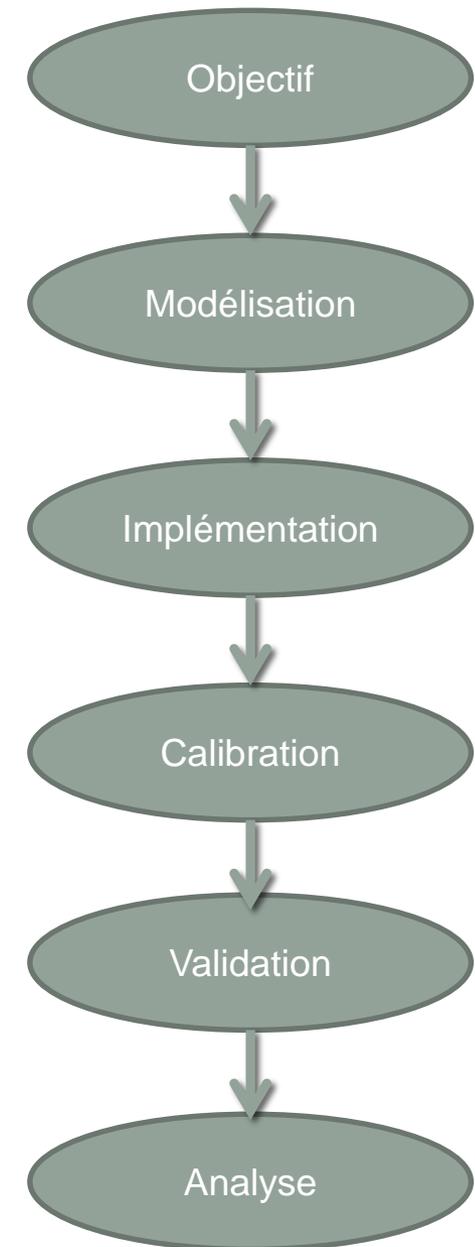
- Le marché est efficient
  - Tous les postes sont pourvus
- Le marché est biaisé
  - Taux de recrutement local supérieur au cas aléatoire
- Deux configurations
  - S&H: beaucoup de candidats, peu de dossiers, biais faible
  - L&M: Peu de candidats, beaucoup de dossiers, biais élevé

# Configuration expérimentale

Domain	Parameter	Test	Humanities & Science	Law & Management
<b>General</b>	N. candidates #C	100	200	100
	N. universities #U	100		50
	MaxShortList	100		5
<b>Candidates</b>	N. applications Ni	100	U[1;20]	U[1;50]
	Elitism ei	1.0		0.7
	Locality li	0		0.1
	Risk ri	1.0		U[0.1;1]
	Applying home hi	1.0		1.0
<b>Universities</b>	N. interviews Nj	100		15
	Elitism ej	1.0		0.7
	Locality lj	1.0		U[0.8;1]
	Risk rj	1.0		U[0.1;1]
	Interview local hj	1.0		1.0

# Validation

- Validation externe:
  - Confrontation aux données empiriques sur les variables agrégées:
    - Taux de recrutement
    - Taux de recrutement local
- Validation interne:
  - Situation « Test » pour vérifier si le modèle se comporte logiquement
  - Tests statistiques pour les résultats quand c'est possible

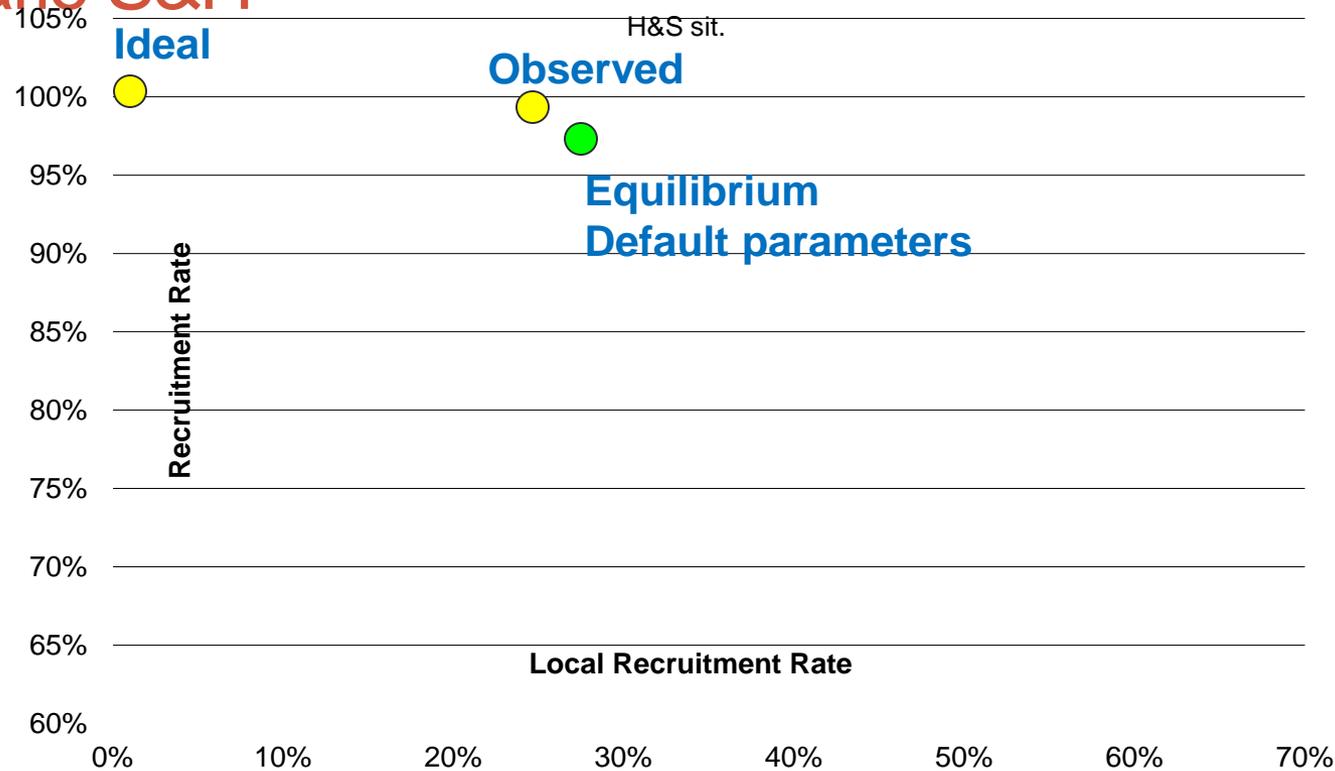


# Situation test

- Perfect:
  - Tout le monde candidate partout
  - Préférences élitistes
- PerfectRdm
  - Tout le monde candidate partout
  - Préférences 50% élitisme 50% bruit
- Perfect
  - Nombre de recrutement = nombre de candidats classés
  - Recrutement local < 2%
- PerfectRdm
  - Permet un taux de recrutement élevé
  - Recrutement local < 2%



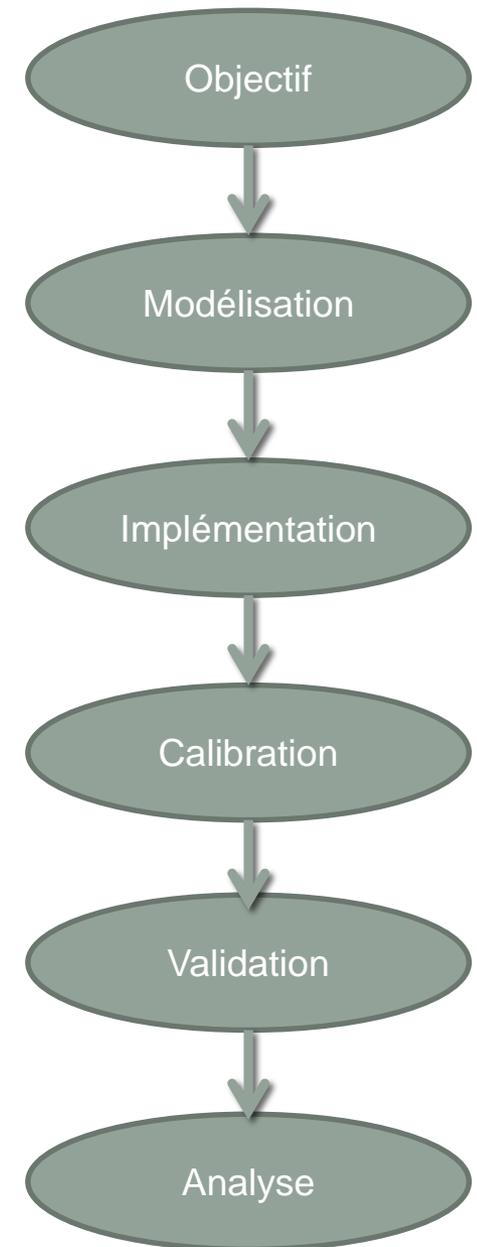
# Scenario S&H



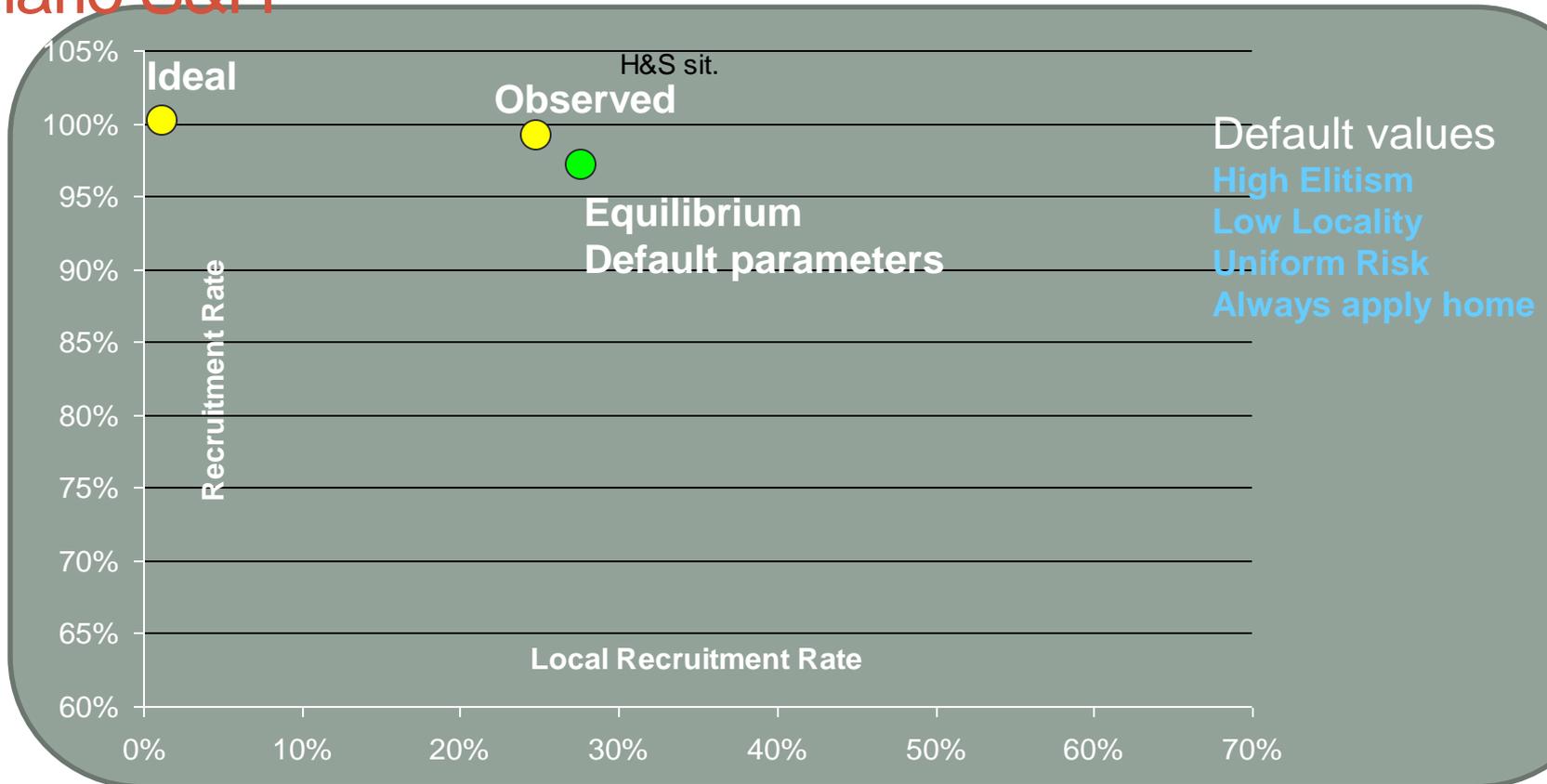
- Valeurs par défaut
- Taux de recrutement / local proche des valeurs empiriques

# Analyse

- Analyse positive:
  - Décrire et expliquer les situations S&H/L&M
- Analyse normative:
  - Comment améliorer la situation en L&M
- Analyse émergence:
  - Peut-on observer des classes/structures?



# Scenario S&H



# Scenario S&H



- Effet de la candidature locale automatique
  - Forte hausse du recrutement local
  - Explique la moitié du recrutement local

# Scenario S&H



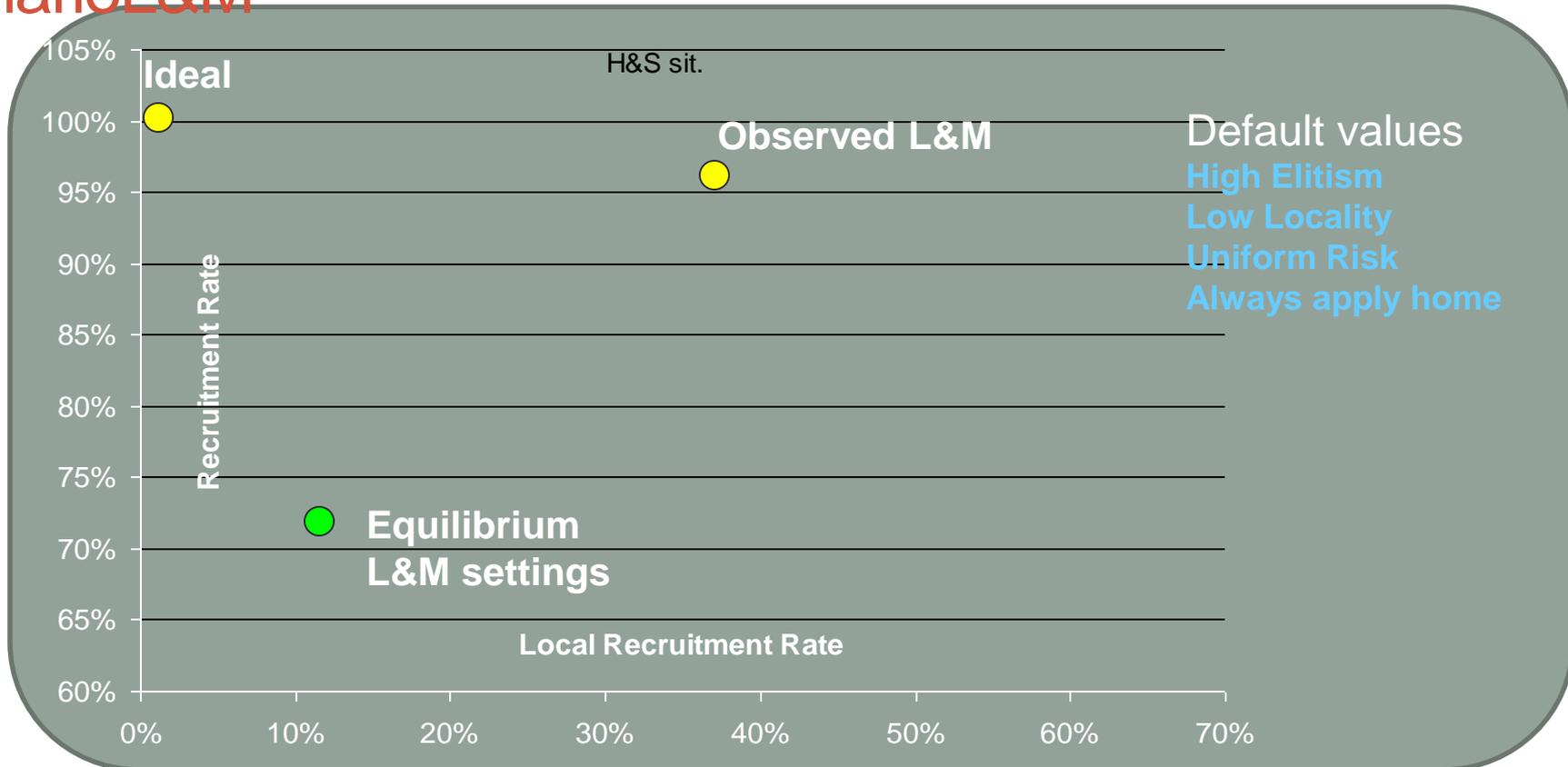
- Effet de la candidature locale automatique
  - Forte hausse du recrutement local
  - Explique la moitié du recrutement local
- Lorsque la préférence locale des candidats augmente
  - Le recrutement total diminue et le recrutement local augmente
  - Ne correspond pas aux données empiriques

# Scenario S&H



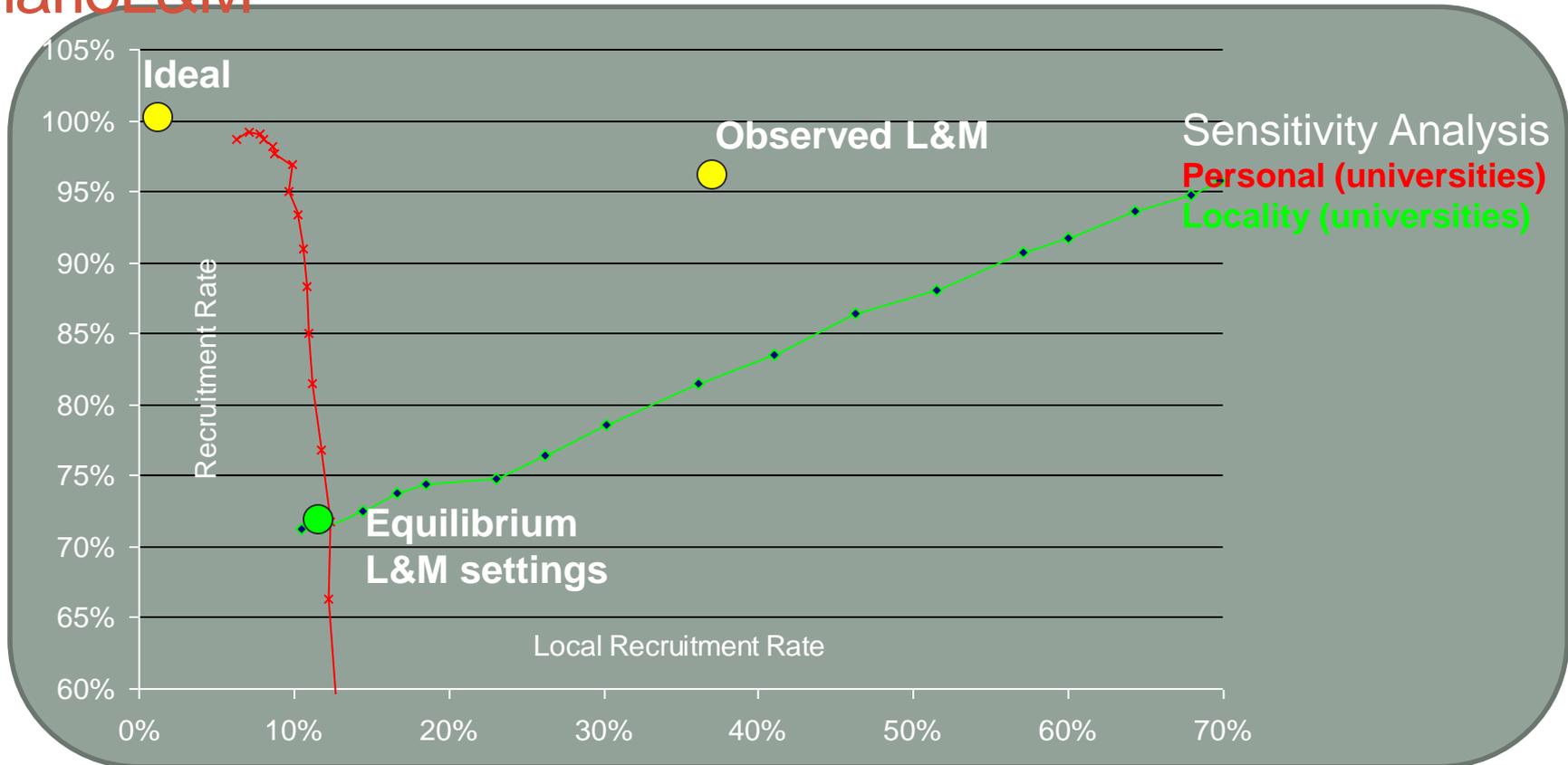
- Effet de la candidature locale automatique
  - Forte hausse du recrutement local
  - Explique la moitié du recrutement local
- Lorsque la préférence locale des candidats augmente
  - Le recrutement total diminue et le recrutement local augmente
  - Ne correspond pas aux données empiriques
- Lorsque le nombre de dossiers par candidat augmente
  - Le recrutement local diminue MAIS
  - Le recrutement total diminue aussi

# Scenario L&M



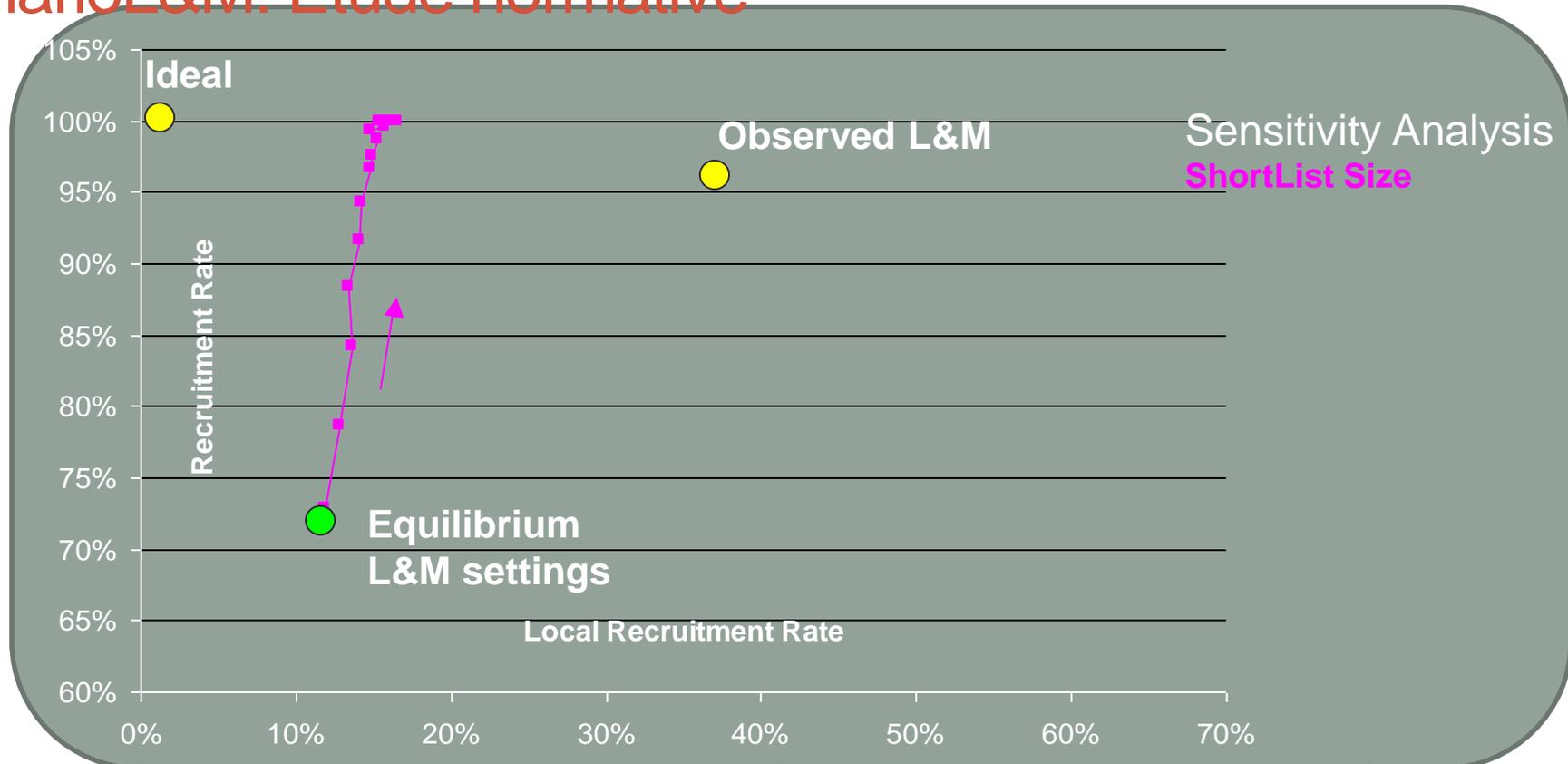
- Scenario L&M (Droit, Gestion et Economie)
  - Moins de tensions sur le marché:
    - Nb. de candidats 200 -> 100
  - Nb élevé de dossiers par candidat
    - Nb moyen de dossiers 10 -> 25

# Scenario L&M



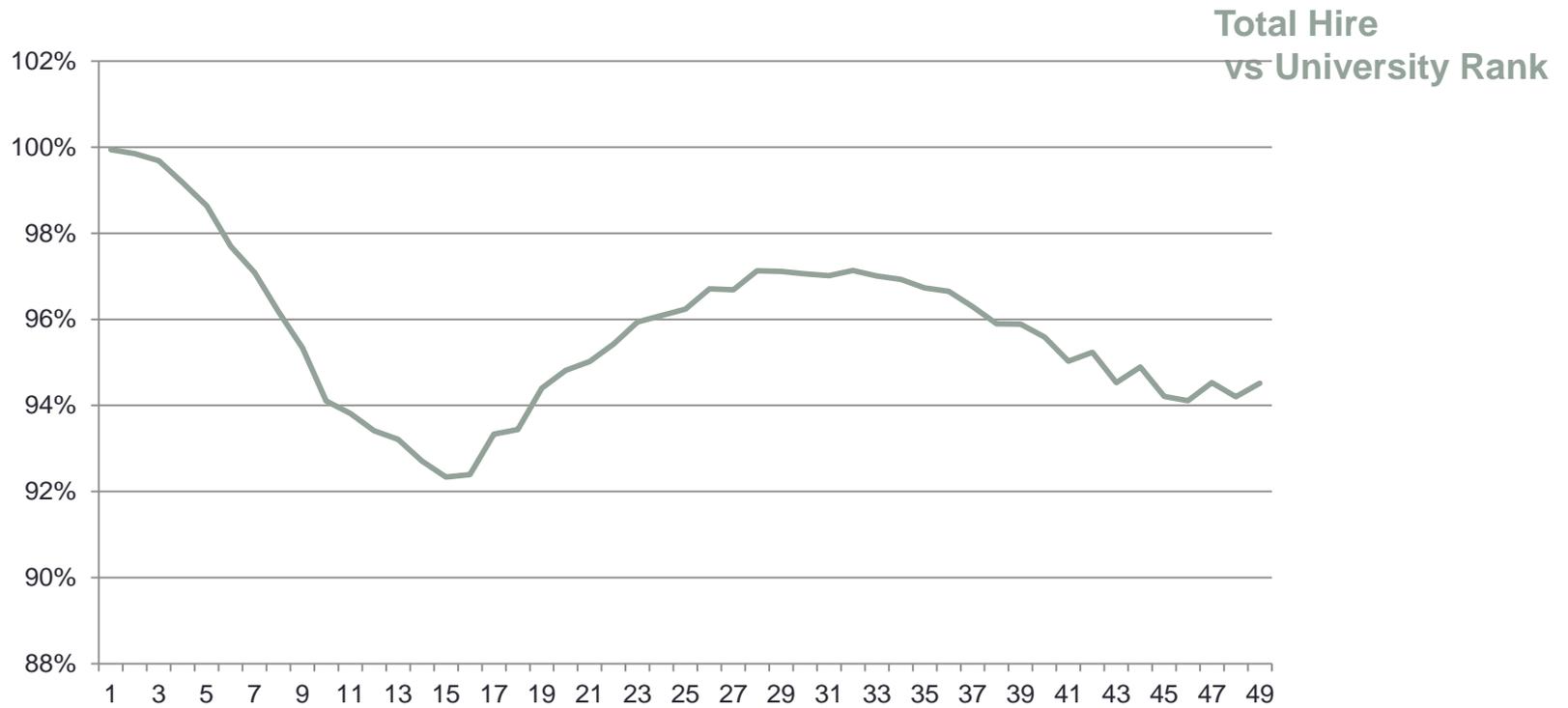
- Fort élitisme -> Faible efficacité
- Remèdes:
  - Fortes préférences locales ou aléatoires
- Le recrutement local est donc un choix stratégique imposé par le système

# Scenario L&M: Etude normative

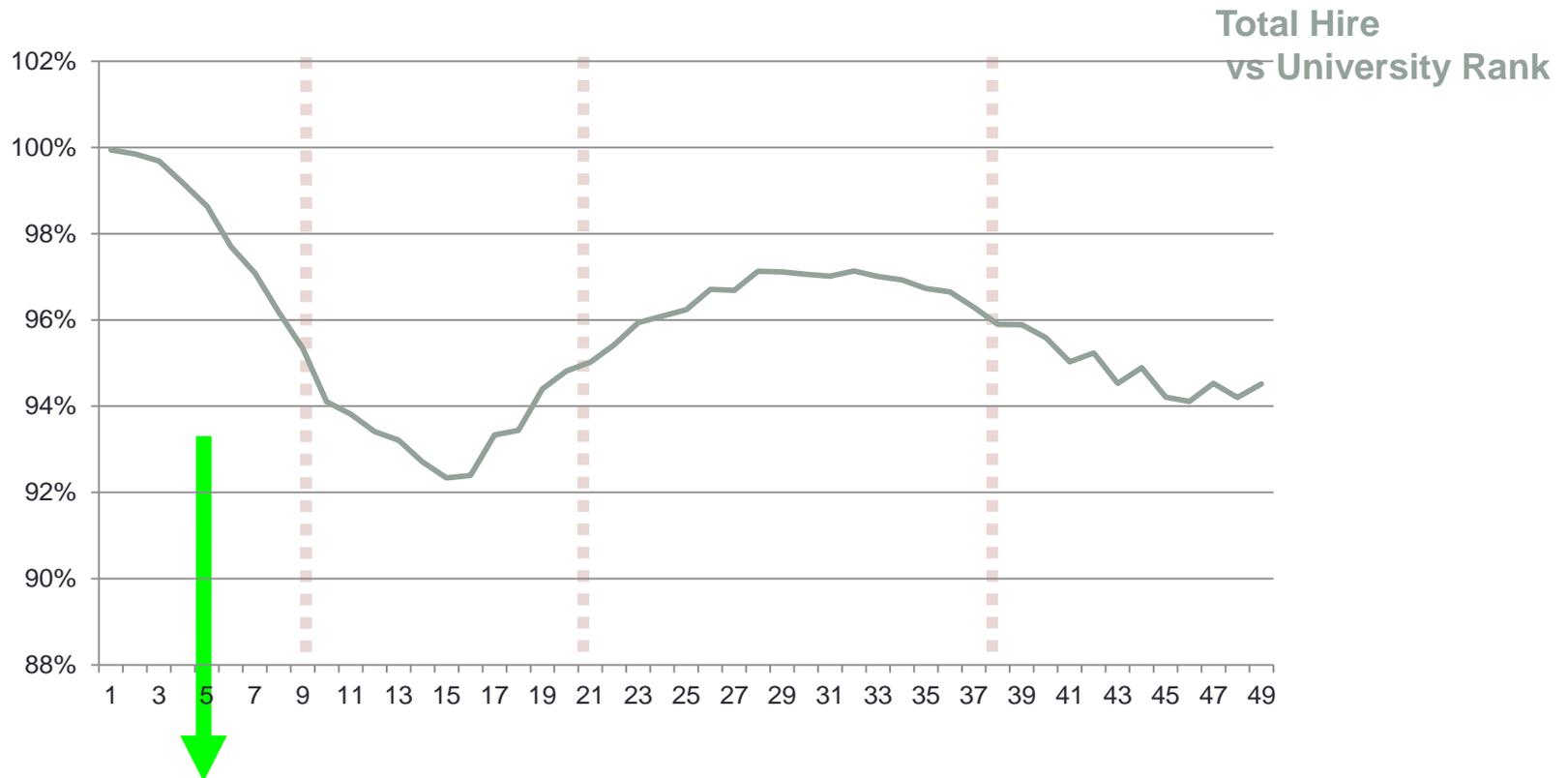


- Effet de l'augmentation de MaxShortList avec elitisme élevé?
  - Hausse du Taux de recrutement
  - Le recrutement local reste bas
- Question: Pourquoi pas?
  - Contraintes de temps
  - Considérations stratégiques

# Etude de l'apprentissage: émergence de classes

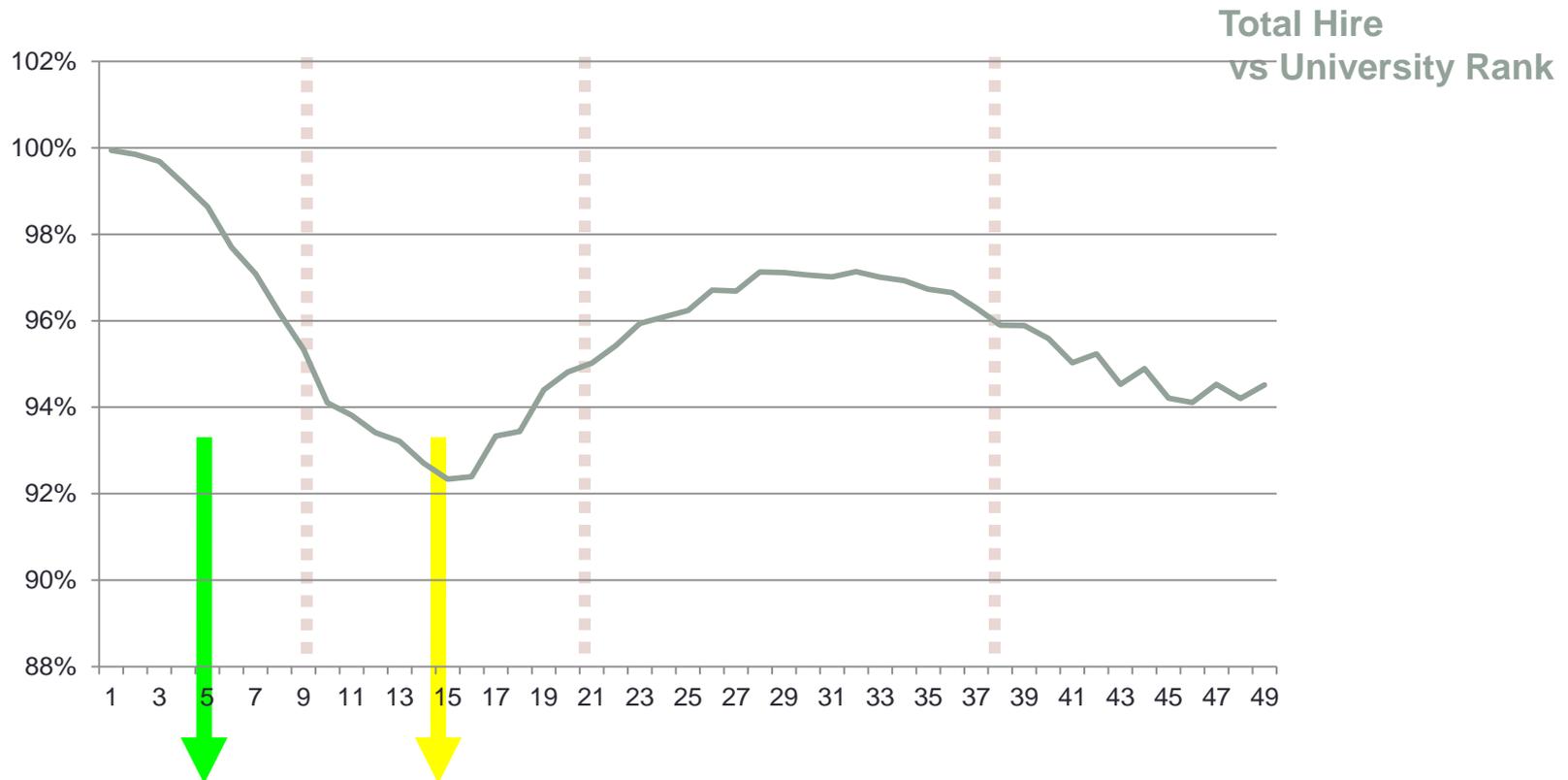


# Etude de l'apprentissage: émergence de classes



Top8: Beaucoup de dossiers, les meilleurs viennent

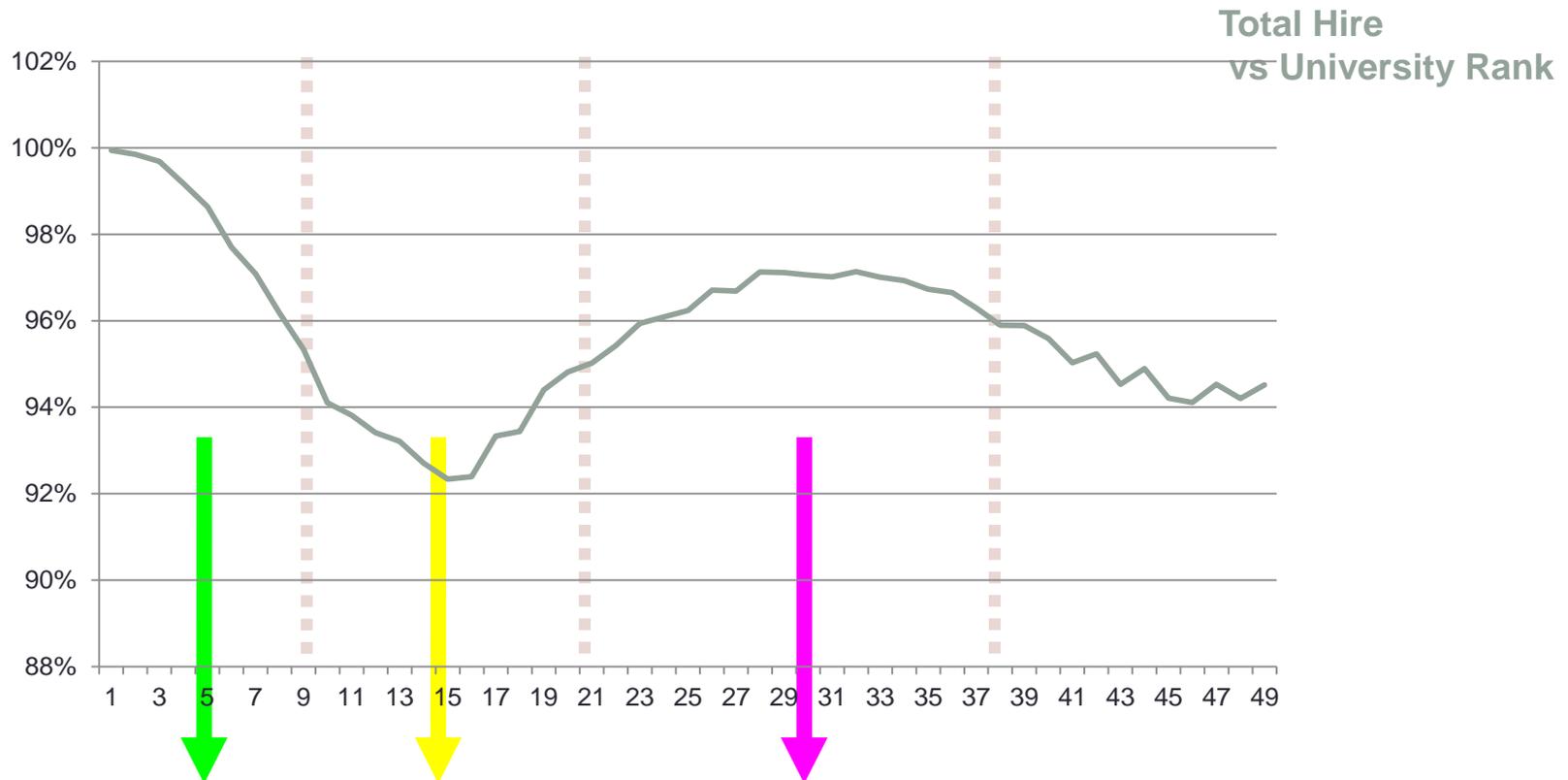
# Etude de l'apprentissage: émergence de classes



Top8: Beaucoup de dossiers, les meilleurs viennent

Good: Beaucoup de dossiers, mais ne viennent pas

# Etude de l'apprentissage: émergence de classes

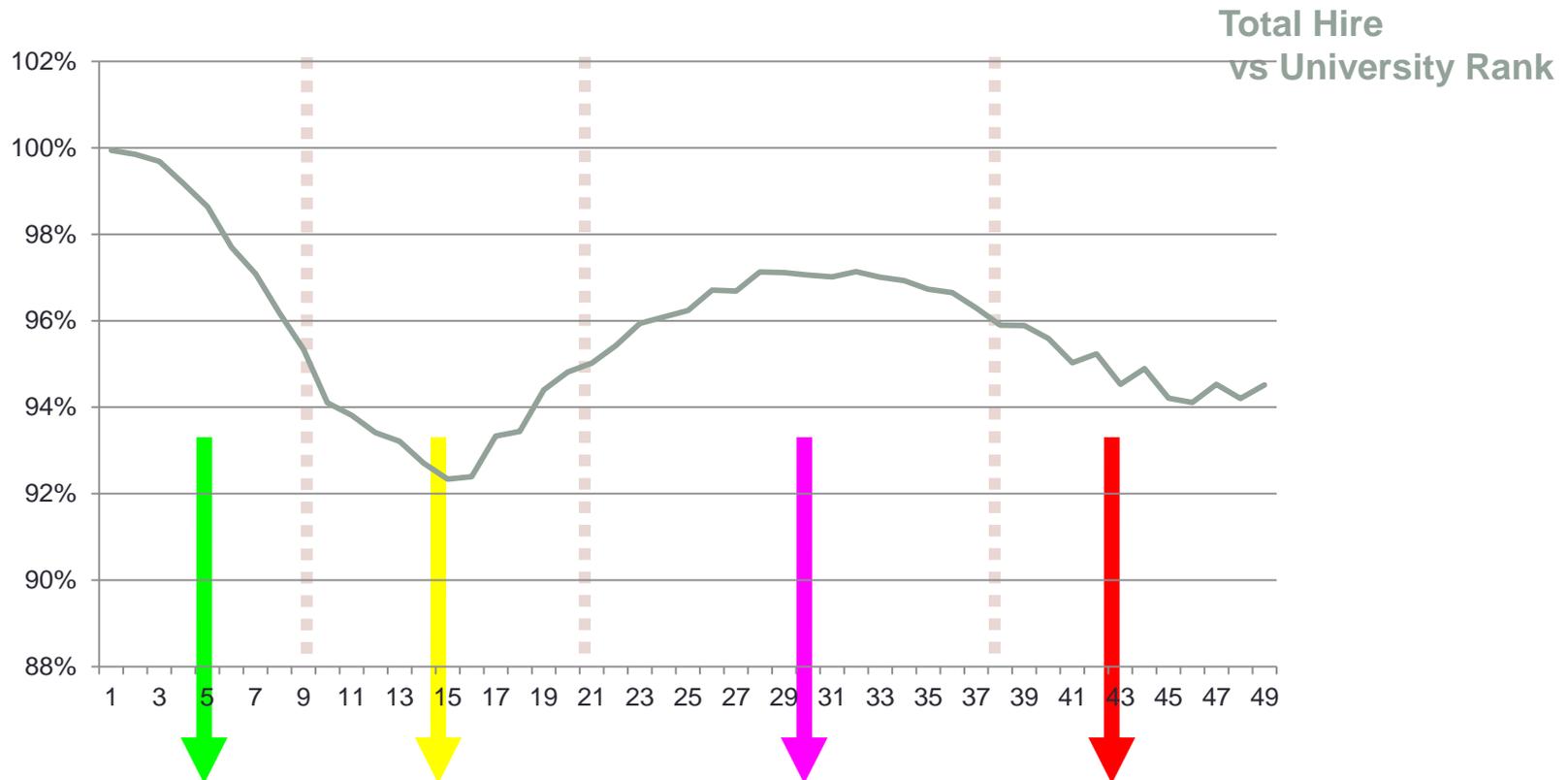


Top8: Beaucoup de dossiers, les meilleurs viennent

Good: Beaucoup de dossiers, mais ne viennent pas

Medium: Peu de dossiers, les locaux et adverses au risque viennent

# Etude de l'apprentissage: émergence de classes



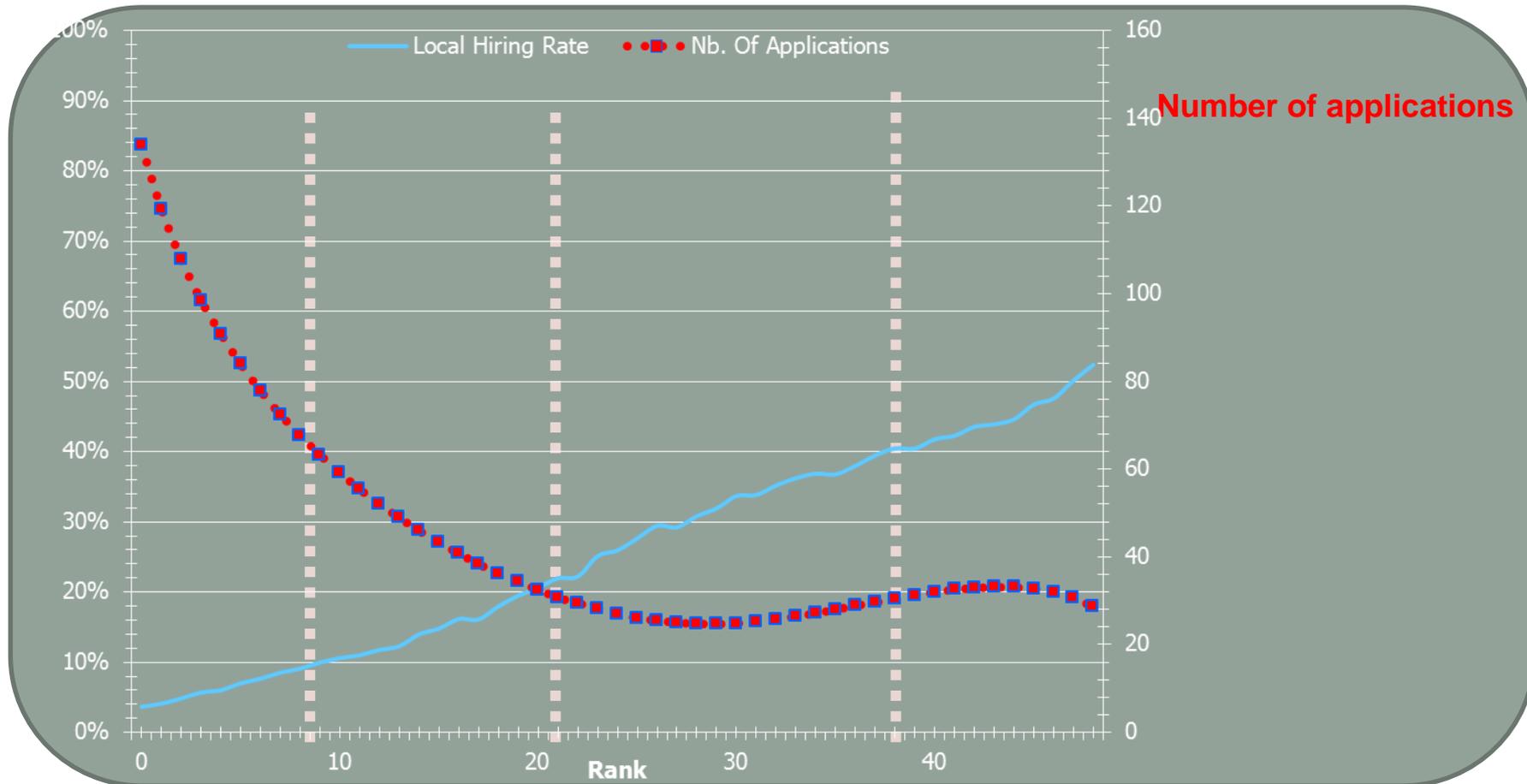
Top8: Beaucoup de dossiers, les meilleurs viennent

Good: Beaucoup de dossiers, mais ne viennent pas

Medium: Peu de dossiers, les locaux et adverses au risque viennent

Bad: Peu de dossiers, ne viennent pas

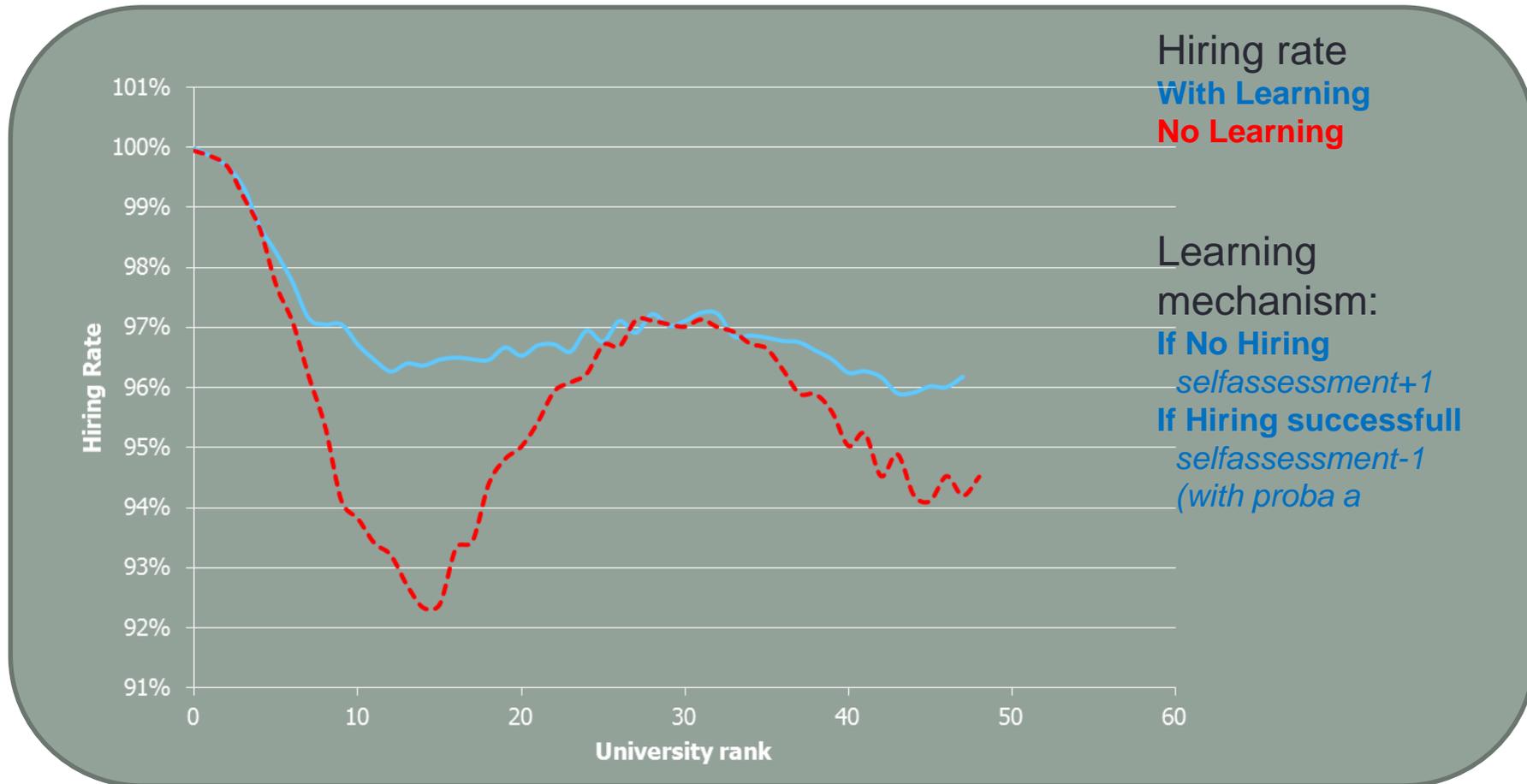
# Etude de l'apprentissage: émergence de classes



Problème de saturation pour les Good et les Top

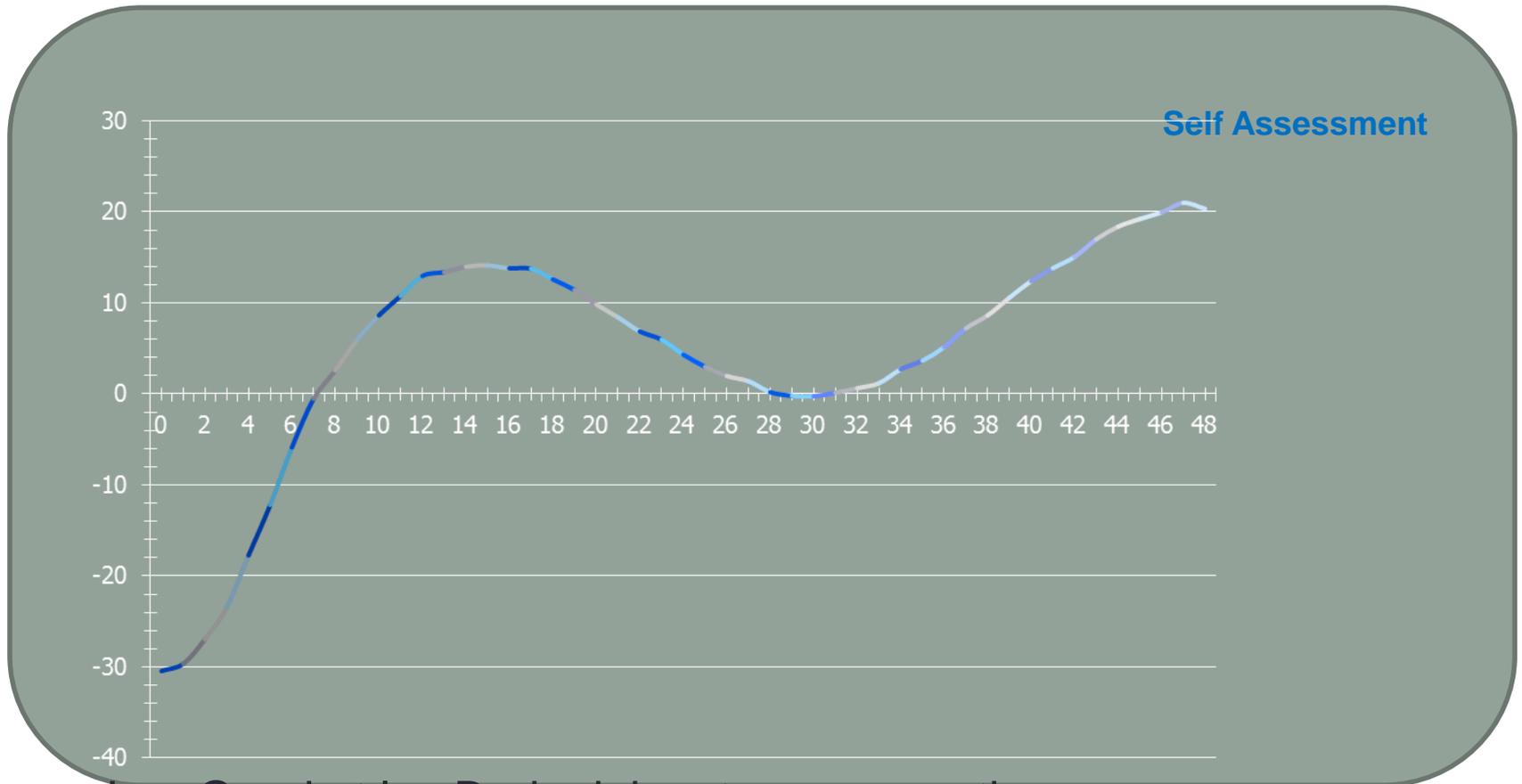
Les locaux sont souvent les meilleurs pour les Medium et les Bad

# Etude de l'apprentissage: émergence de classes



- L'évolution de l'auto-évaluation permet un marché plus efficace
- Seuls les Good et les Bads ont un taux de recrutement qui augmente

# Étude de l'apprentissage: émergence de classes

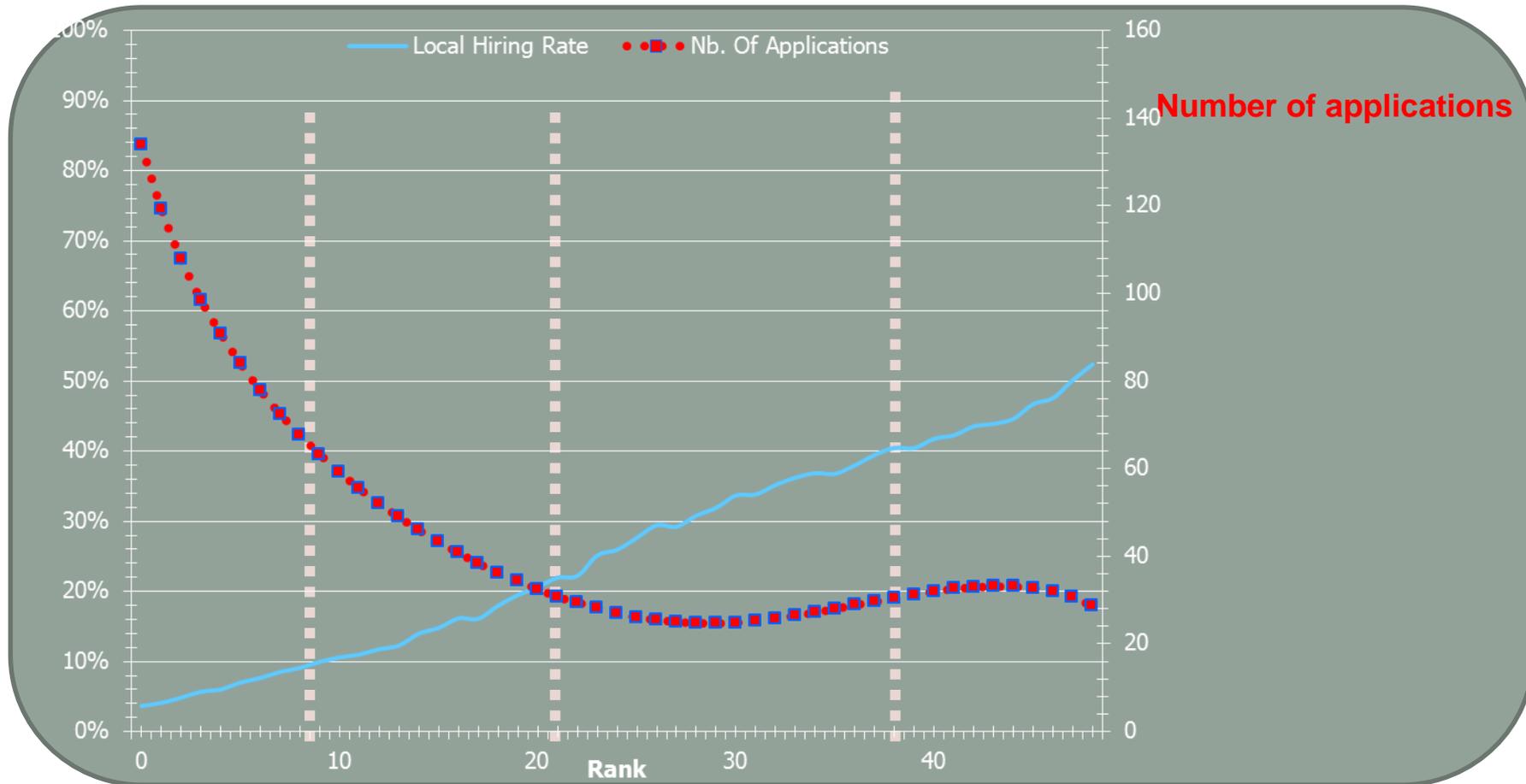


- Les Good et les Bads doivent se sous-estimer
- Les Good et les Mediums doivent se considérer Medium
- Les Tops peuvent se surestimer

# Données de 2009: recrutement local, Prime d'excellence et dossiers par poste (attractivité)

4	Étiquettes de lignes	▼	Moyenne de Locals	Moyenne de PAeBS	Moyenne de LocPAcadS	Moyenne de PAS	Moyenne de taux attractiviténets
5	MONTPELLIER 3		0%	33%	0%	0%	101
6	LYON ENS		0%	67%	0%	33%	94
7	CLERMONT ENS CHIMIE		0%	100%	0%	0%	64
8	PARIS 13		0%	36%	33%	16%	54
9	PARIS 11		24%	65%	59%	34%	53
10	GRENOBLE 1		14%	53%	19%	27%	52
11	GRENOBLE 2		0%	0%	0%	0%	52
12	PARIS DAUPHINE		0%	81%	75%	38%	45
13	MARNE-LA-VALLEE		50%	42%	50%	23%	45
14	VERSAILLES ST-QUENT.		17%	49%	83%	16%	44
15	CERGY-PONTOISE		10%	43%	40%	16%	42
16	PARIS 10		0%	45%	0%	9%	41
17	PARIS 1		0%	67%	0%	0%	39
18	BORDEAUX 1		35%	58%	47%	23%	37
19	TOULOUSE INSA		33%	48%	50%	19%	37
20	POLYNESIE		0%	33%	0%	0%	35
21	RENNES INSA		0%	70%	25%	35%	33
22	DIJON		36%	51%	36%	16%	33
23	TOULOUSE 3		36%	52%	46%	18%	32
24	LYON ECOLE CENTRALE		0%	50%	20%	22%	32
25	RENNES 1		42%	64%	42%	26%	31
26	EVRY ENSIIE		0%	67%	100%	33%	31
27	CAEN ISMRA		0%	56%	0%	33%	31
28	LIMOGES		33%	38%	33%	18%	29
29	RENNES 2		0%	25%	0%	0%	28
30	AIX-MARSEILLE 3		22%	45%	44%	18%	28
31	NANCY INP		0%	60%	36%	21%	28
32	REIMS		50%	43%	50%	20%	27
33	ROUEN		36%	44%	36%	12%	27
34	EVRY		0%	52%	50%	24%	27

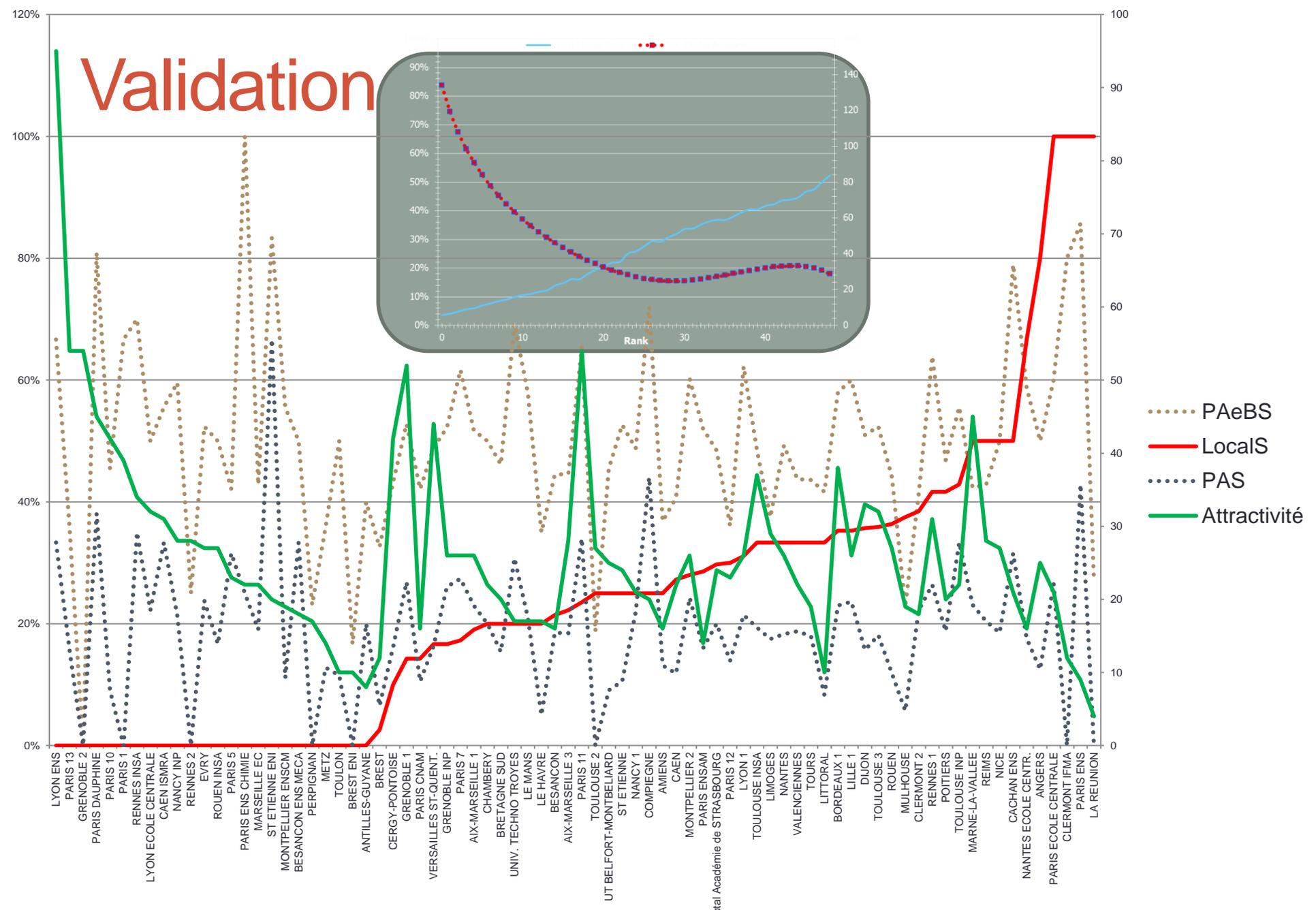
# On devrait retrouver un graphique du type:



Problème de saturation pour les Good et les Top

Les locaux sont souvent les meilleurs pour les Medium et les Bad

# Validation

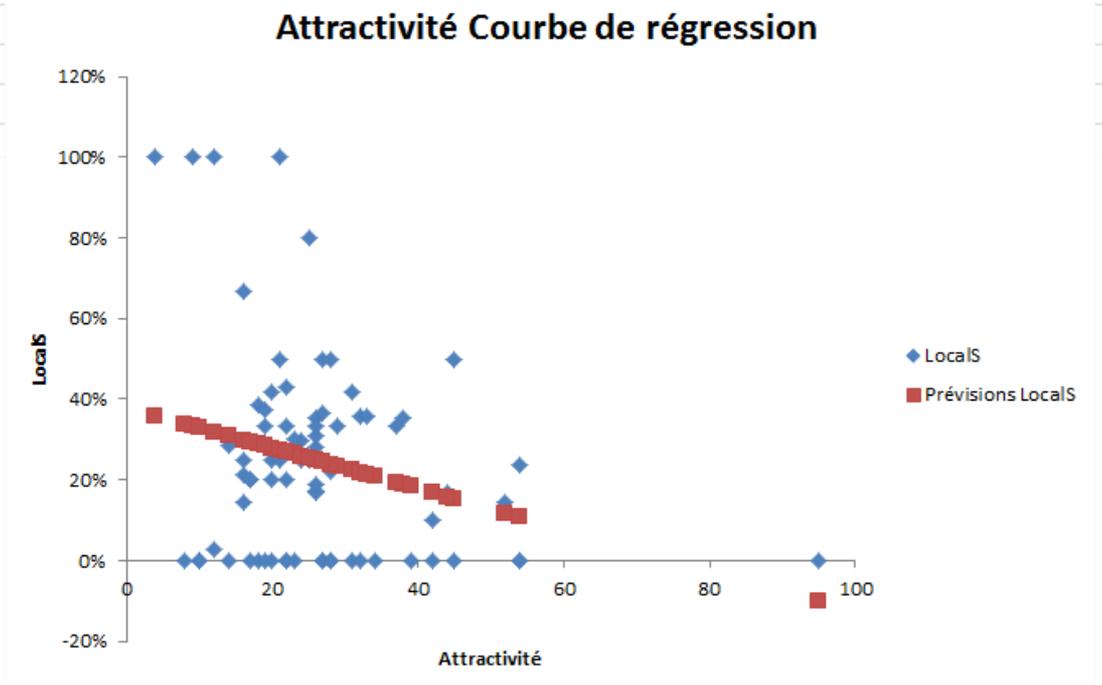


- ..... PAeBS
- LocalS
- ..... PAS
- Attractivité

2									
3	<i>Statistiques de la régression</i>								
4	Coefficient de détermination multiple	0,27091084							
5	Coefficient de détermination R^2	0,07339268							
6	Coefficient de détermination R^2	0,06120048							
7	Erreur-type	0,24294395							
8	Observations	78							

10	<b>ANALYSE DE VARIANCE</b>								
11			<i>Degré de liberté</i>	<i>mme des carrés</i>	<i>F</i>	<i>leur critique de F</i>			
12	Régression		1	0,35528987	0,35528987	6,01964159	0,01643818		
13	Résidus		76	4,48565411	0,05902176				
14	Total		77	4,84094398					
16		<i>Coefficients</i>	<i>Erreur-type</i>	<i>Statistique t</i>	<i>Probabilité</i>	<i>pour seuil de</i>	<i>pour seuil de</i>	<i>pour seuil de</i>	<i>pour seuil de con</i>
17	Constante	0,37945361	0,0604299	6,27923572	1,9328E-08	0,25909702	0,49981019	0,25909702	0,49981019
18	Attractivité	-0,00505002	0,0020583	-2,45349579	0,01643818	-0,00914947	-0,00095057	-0,00914947	-0,00095057

22 ANALYSE DES RÉSIDUS



# Pourquoi c'est intéressant?

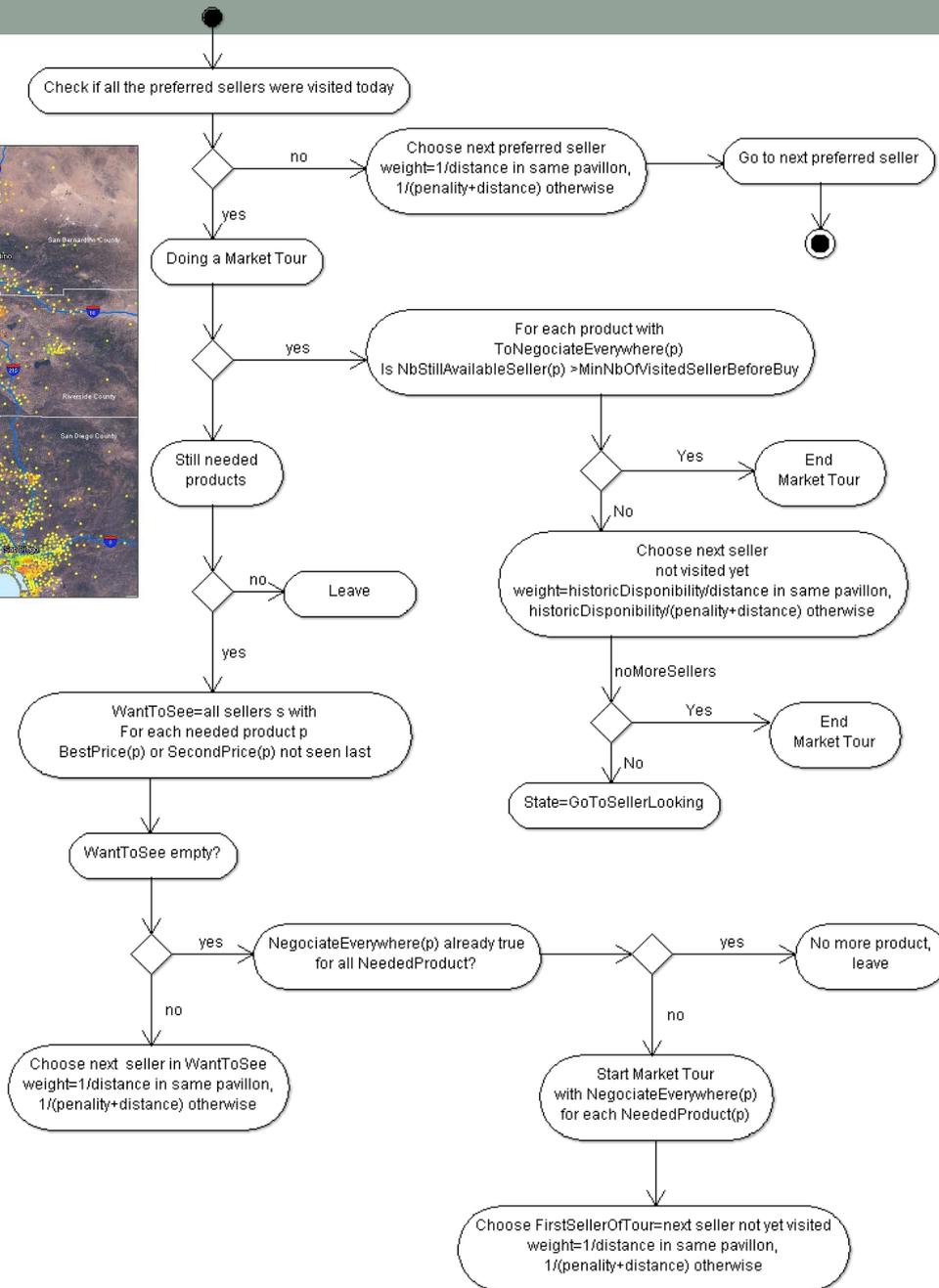
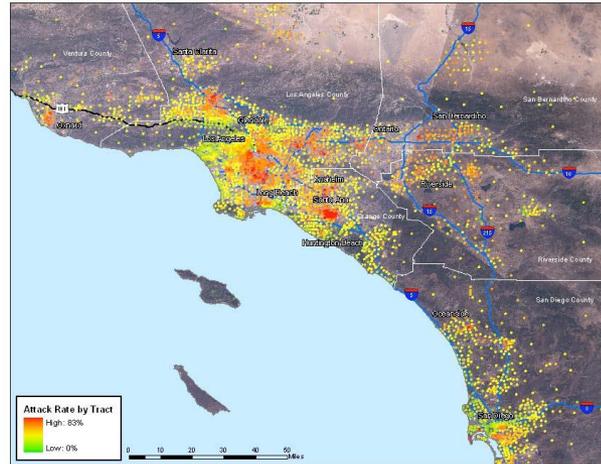
- Une troisième approche des sciences sociales [Axelrod 03]
  - Deductive:
    - Spécification d'un ensemble d'axiomes puis construction d'un ensemble de faits/propriétés à partir de ces axiomes
  - Inductive:
    - Découverte de régularités/formes dans les données empirique
  - MABS
    - Comme pour la déduction, ensemble d'hypothèses explicites
    - Comme pour l'induction, analyse d'un ensemble de données (logs)
    - “ While induction can be used to find patterns in data, and deduction can be used to find consequences of assumptions, simulation modeling can be used as an aid intuition.”
- Avantages
  - Simple de définir/tester de nouveaux scénarii, d'observer des valeurs agrégées
  - La définition du modèle est intuitive (comportement direct de l'agent)

# Solutions alternatives

- Analyse mathématique
  - Principe: représenter la dynamique sous forme d'équations et en déduire les propriétés du modèle
  - Avantage:
    - résultats prouvés formellement,
    - compréhension complète du phénomène
  - Inconvénients:
    - Nécessité de modéliser à un niveau agrégé
    - Les dynamiques peuvent être trop complexes pour être analysées
  - Possibilité: traduire automatiquement une partie de la simulation multi-agent en modèle mathématique pour étudier une sous-partie du problème à fond [Vo, Drogoul et Zucker 2010]

# MABS

- Introduction
- KISS et l'ACE
- **KIDS**
- Calibration et validation avancées
- Modélisation participative

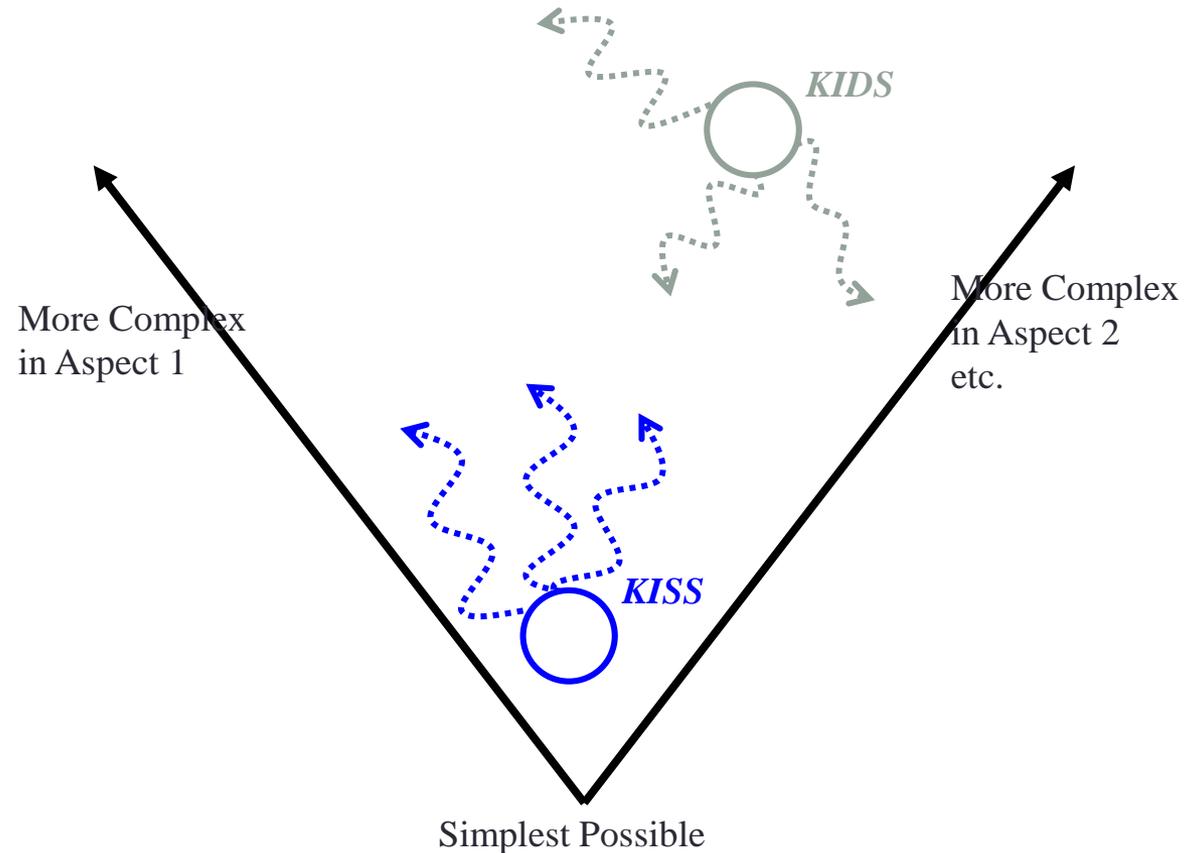


# Que faire si on commence à s'intéresser à des systèmes avec plus de 30 paramètres/des comportements individuels?

- KISS: Keep It Simple, Stupid!
  - Les valeurs agrégées doivent être réalistes, pas les valeurs individuelles
  - Nombre minimum de paramètres et d'hypothèses
- Limites
  - Applications mal adaptées:
    - Étude de comportements individuels
    - Environnements avec peu d'individus
    - Domaines avec des comportements complexes
  - Il faut savoir ce qui provoque l'émergence (ce qui est intéressant) pour l'inclure
- Ex: Marché de grossistes: peu d'acteurs, prix négociés de façon bilatérale
- 2 solutions:
  - Se limiter à un sous-problème en étudiant l'effet de certains paramètres sur un petit nombre de variables [Moulet & Rouchier 08][Weisbuch et al. 00]
  - Essayer de simuler des comportements individuels réalistes

# De KISS à KIDS

- Keep It Descriptive, Stupid! [Edmonds & Moss 05]



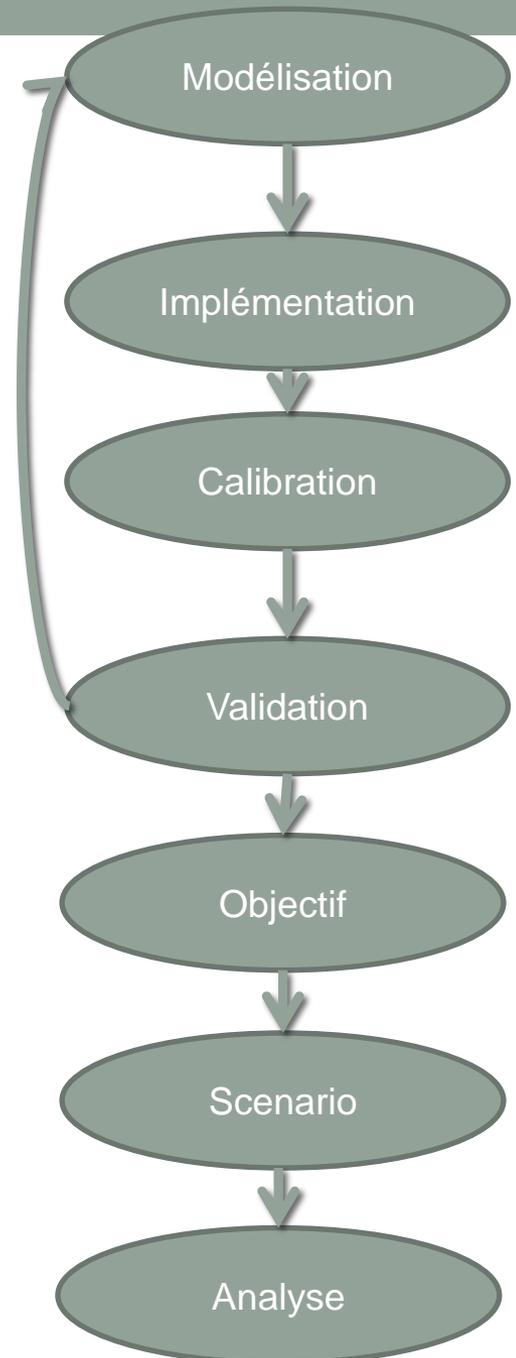
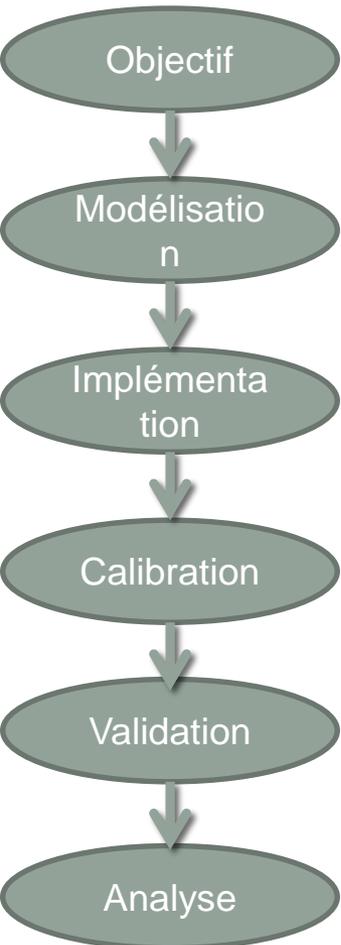
# Implications méthodologiques

- Objectif:
  - Comportements réalistes à un niveau individuel

KISS	KIDS
Nombre de paramètres et d'hypothèse limité	Pas de limite sur le nombre d'hypothèses et de variables
Objectif de généralité des résultats	Objectif de réalisme relatif à un domaine spécifique
Pas de réalisme individuel	Réalisme individuel
Objectif ->Hypothèses ->Validation/Analyse	Modèle et simulation ->Validation ->Définition des objectifs et analyse
1 modèle = 1 problème	1 modèle = 1 environnement

# Méthodologie KIDS

## KISS



# L'experience dans l'experience



# Contexte: Marché de Rungis

- Plus gros marché de fruits et légumes du monde
  - 1,5 milliards de tonnes de produits par an
  - 500 grossistes
  - 20000 acheteurs réguliers
- Marché des fruits et légumes:
  - 5 pavillons, chacun avec 20 vendeurs (stands)
  - 1 million de tonnes de produit par an

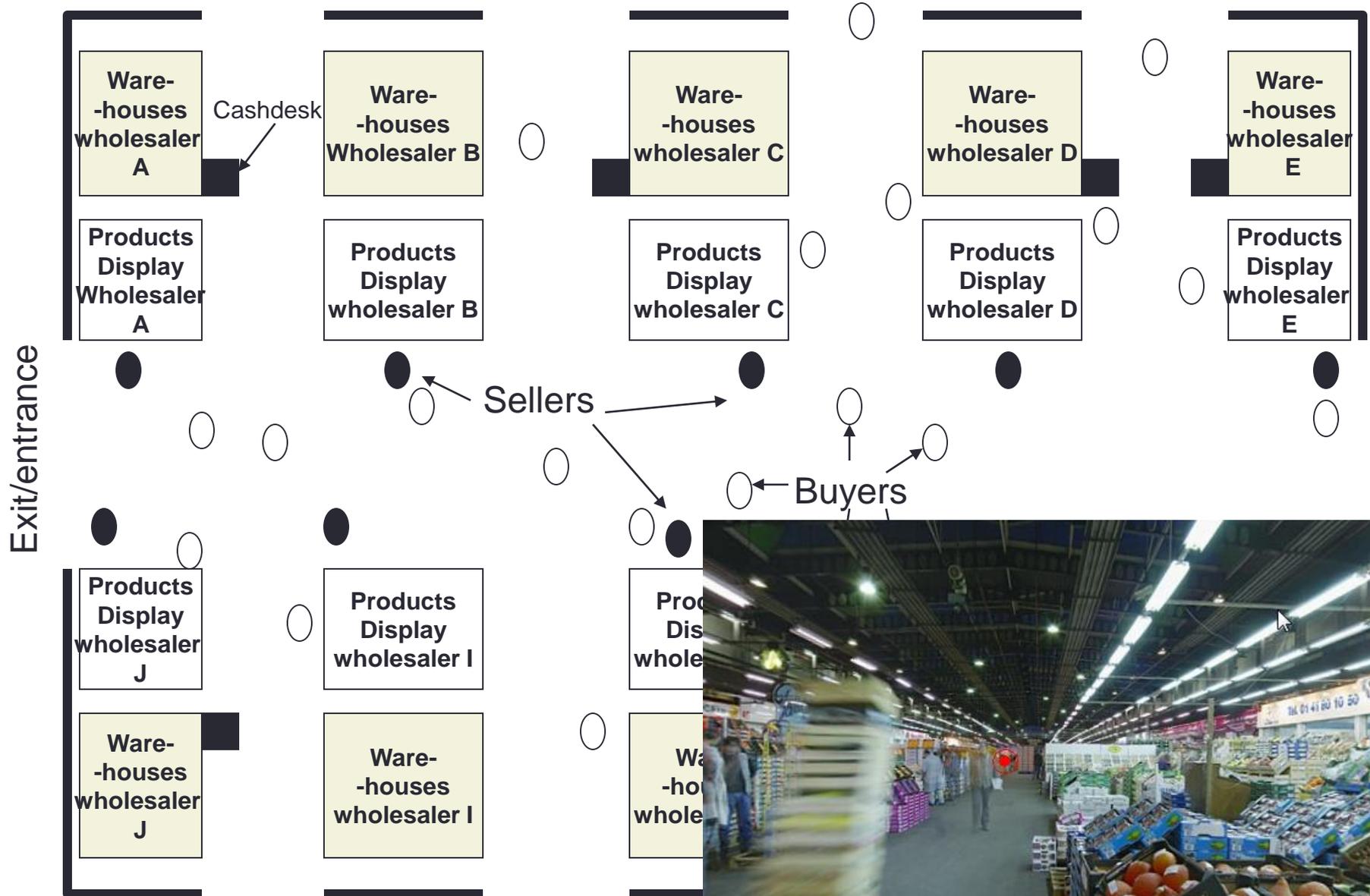


# Méthodologie de modélisation

- Approche ethnographique
  - 10 nuits (50h) sur le marché de Rungis
  - Interview de vendeurs , acheteurs et officiels
  - 100 pages de notes
- Transcription dans un modèle multi-agent
  - Discussion entre l'expert et l'informaticien
  - Formalisation sous forme de règles de comportement
- Ex: agent vendeur
  - 18 règles de négociation/comportement
  - 7 états possibles
  - 5 algorithmes (prix, probabilité de changer de prix/produits, ...)
  - 25 paramètres
  - 20 variables

# Environnement

## Loading/unloading platforms



Loading/unloading

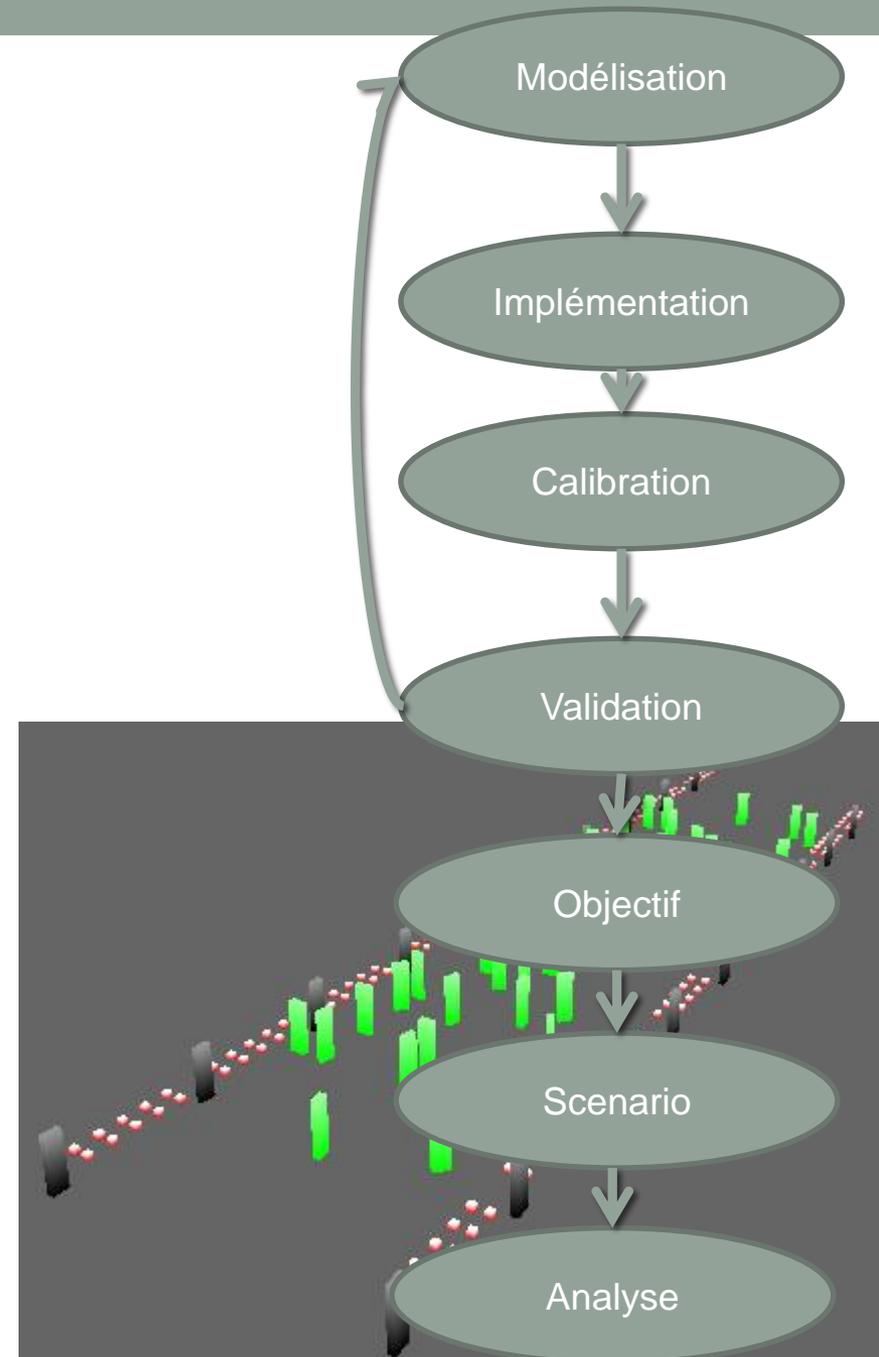
Pavillon fruits et légumes

# Agents

- Environnement
  - Marché ouvert de 5 à 10h
- Produits:
  - Age
  - Qualité diminuant chaque jour
  - Pas de prix fixe. Un prix « officiel » par produit, qui est la moyenne des prix affichés par les vendeurs.
- Agents: 6 types
  - Agent administrateur
  - Agent vendeur
  - Agent acheteur
    - Neuilly
    - Barbes
    - Restaurateur
    - TimeFree

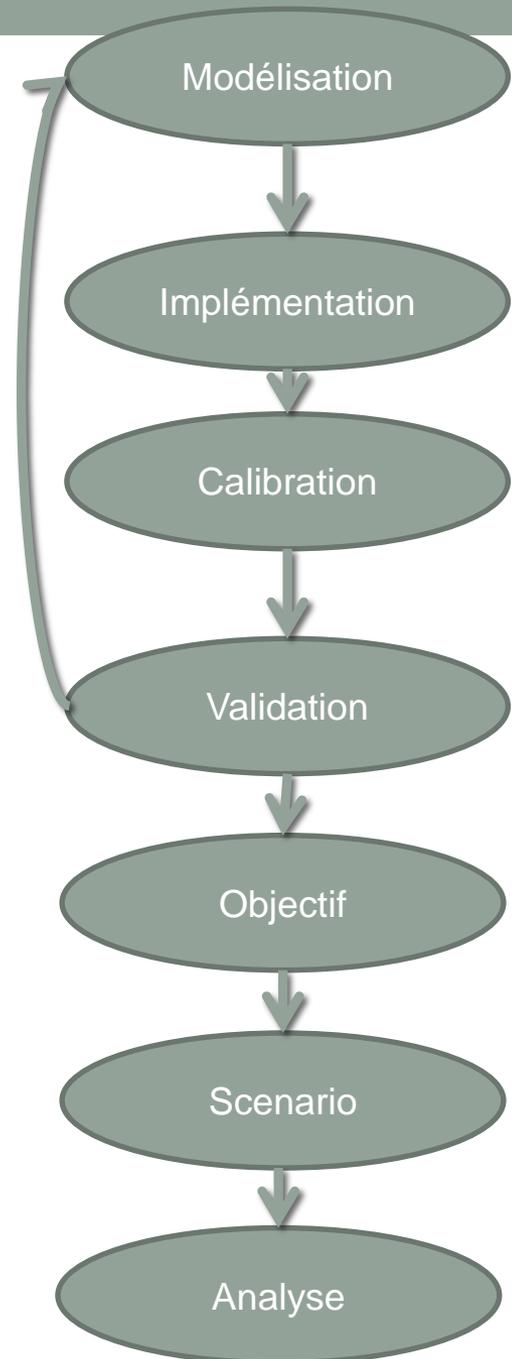
# Implémentation

- BitBang framework
  - 3D
  - Développée pour la vie artificielle
  - Grande liberté de modèle d'agent
- Agents:
  - Perception et vitesse limitée dans l'espace
  - Perceptions, Actions, Règles de comportements, Features (propriétés perceptibles)
- Objets
  - Paniers de biens
- Scheduler
  - Informe de l'heure
- Negotiation:
  - Perception de messages (string)
  - Temps minimum fixe entre chaque phrase



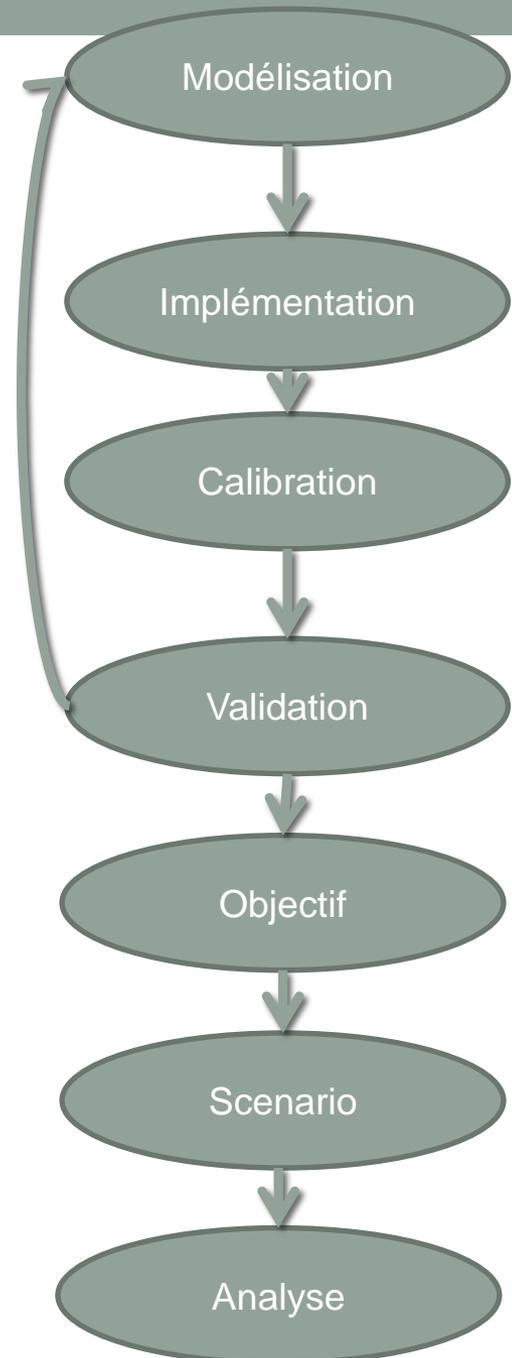
# Calibration

- Données empiriques
  - Ministère de l'Agriculture, DGCCRF, Rungis
- Normalisation
  - Pour des raisons de clareté si pas d'impact sur le comportement.
  - Ex: Producer Price (qual 0)= 10
  - Supprimée si:
    - L'expert indique l'existence de seuils psychologiques
    - Pour plus de réalisme dans les valeurs (par exemple pour présenter à des acteurs réels)
- Calibration automatique
  - Offre= Demande (x MarketTension)

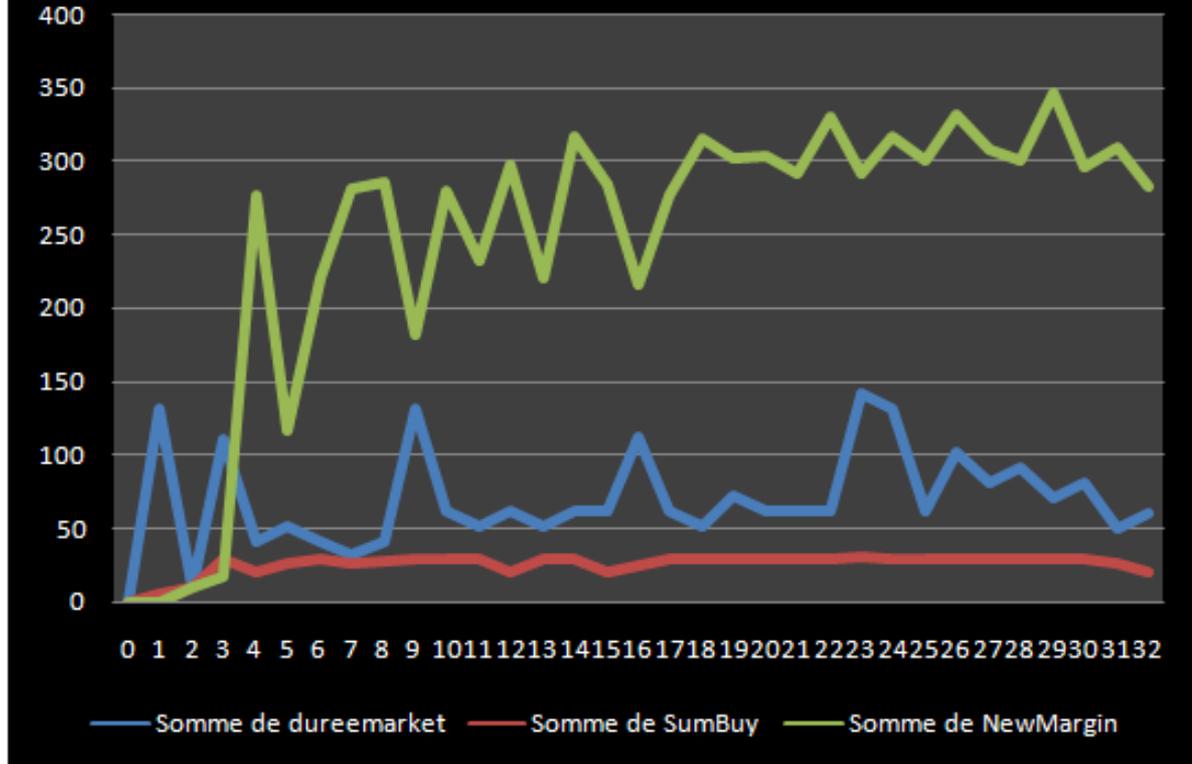
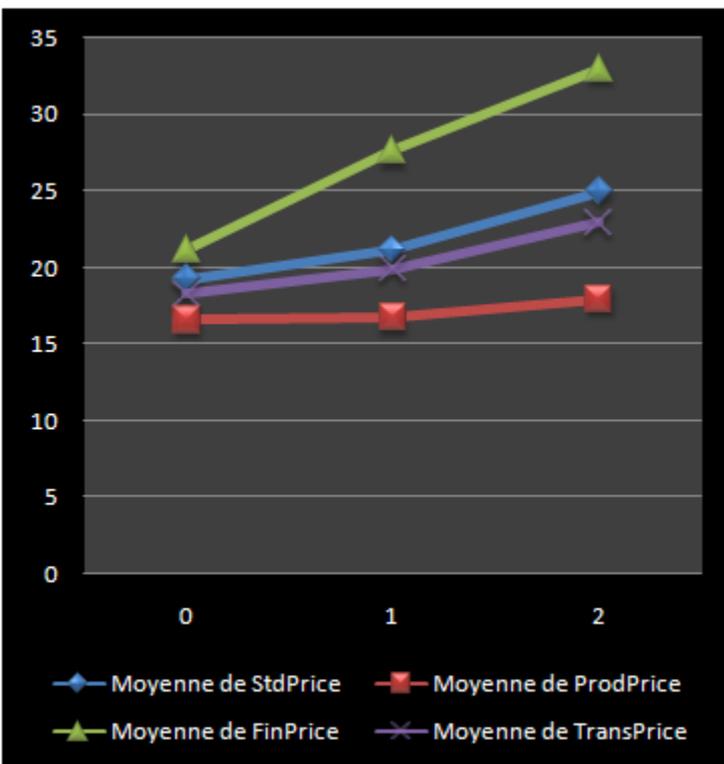
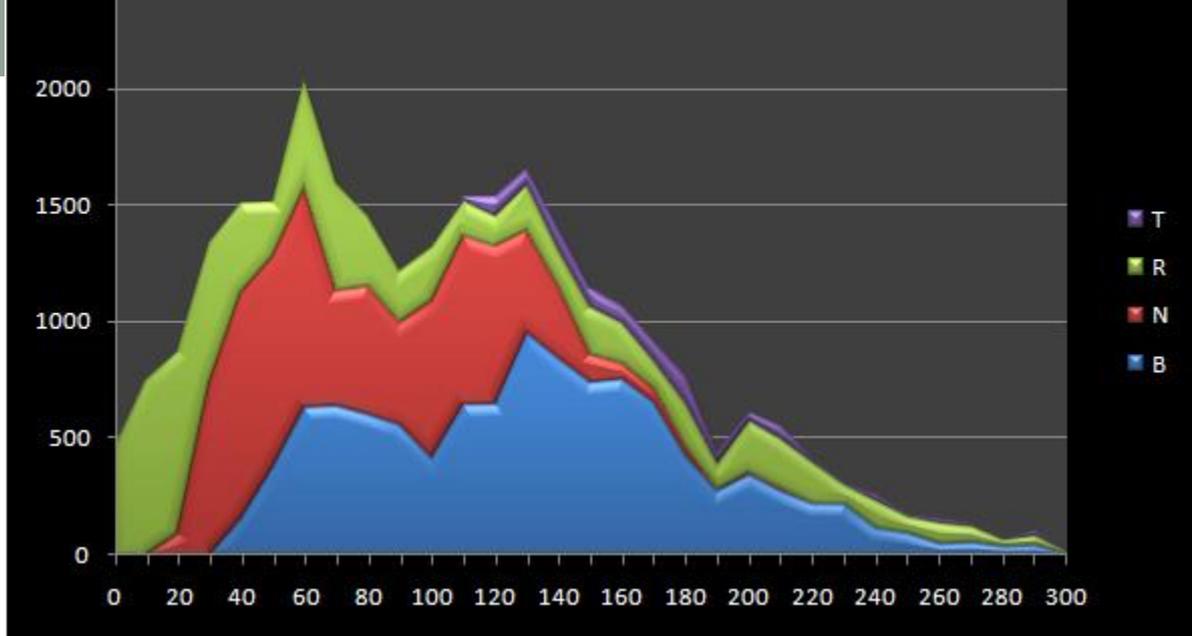


# Validation

- Analyse du comportement individuel
  - Aller-retour constant entre calibration / validation et modélisation pour prendre en compte les retours de l'expert.
  - Objectif: rendre le modèle plus réaliste
  - **Ajouter des règles est une bonne chose**  
*(ou au moins cela n'est pas négatif)*

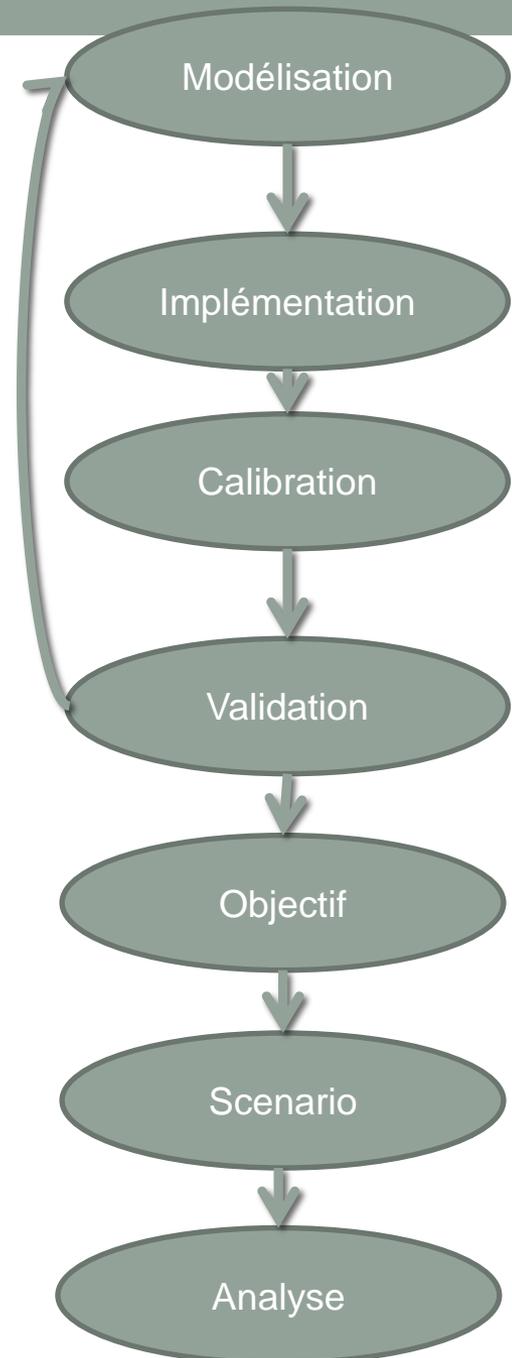


- Valeurs agrégées
  - Niveau individuel
  - Niveau du groupe
  - Niveau global



# Protocole expérimental

- Définition d'un protocole expérimental pour réaliser une simulation *dans le monde simulé* (*SurSimulation: [Varenne 11]*)
  - Nombre limité d'hypothèses
  - Expériences reproductibles
  - Tests statistiques sur les résultats
- La simulation de l'environnement (le marché de Rungis) n'est pas reproductible
- L'expérience au sein du marché est reproductible



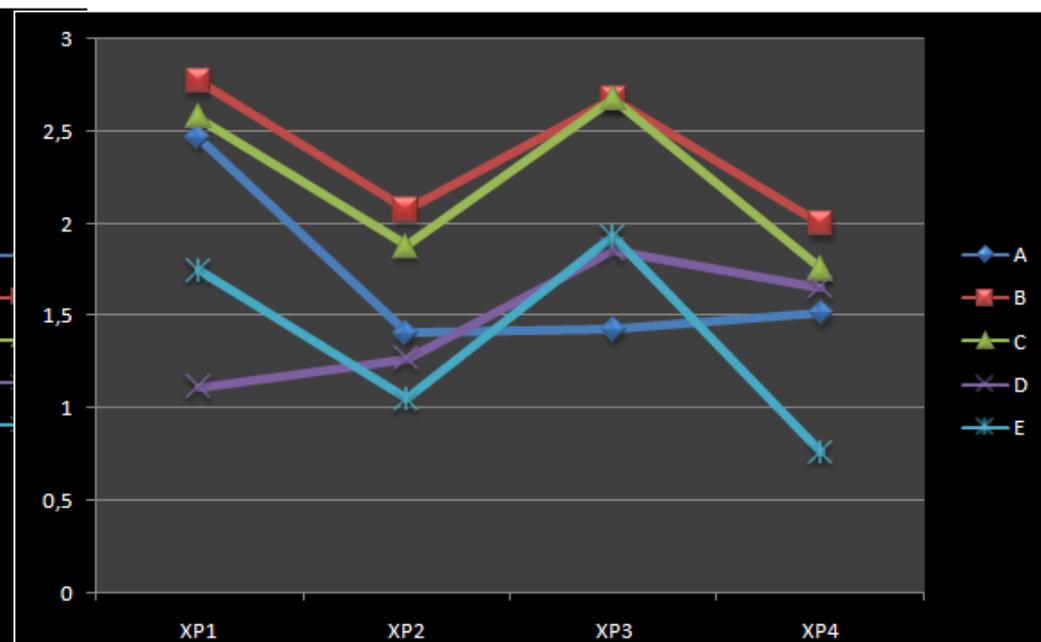
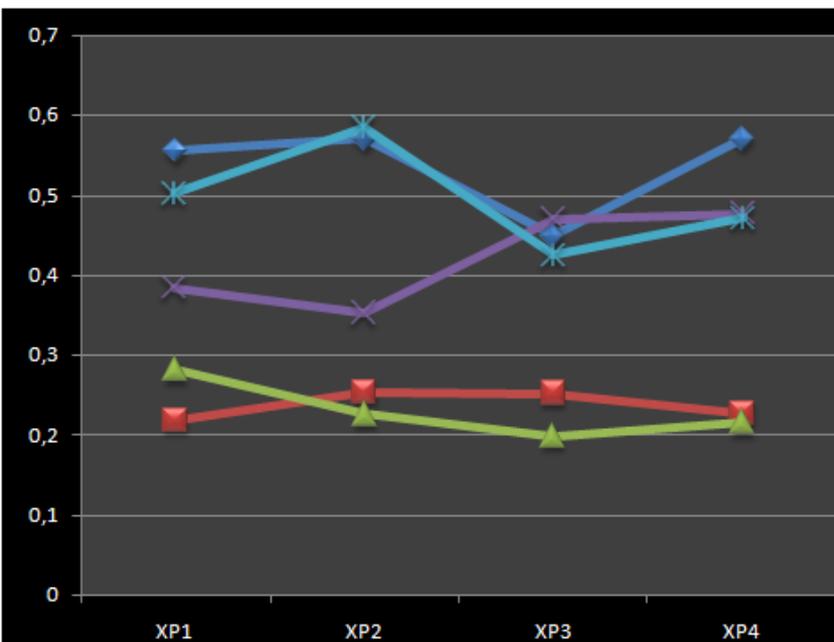
# Ex: Stratégies d'acheteur en environnement incertain

[Curchod, Caillou and Baptista 09]

Ag	Description
A	search strategy, high propensity to compare prices, systematic negotiation, no loyalty
B	long term relation with one seller for each good, stable prices negotiated once and for all
C	same as B plus frequent check that other suppliers do not make better offers, capacity to change suppliers if a better offer
D	preferred relation with three sellers for each good, systematic comparison among these three and choice of the best offer
E	same as D plus frequent check that other suppliers do not make better offers, capacity to change suppliers if a better offer

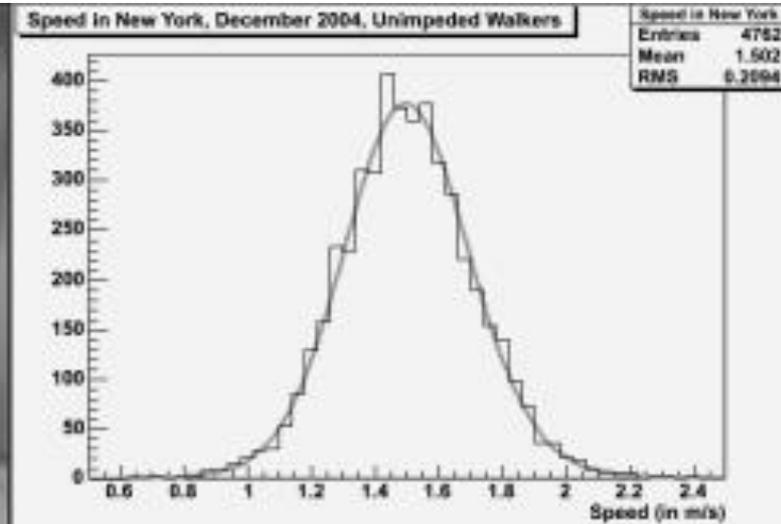
XP	Market Environment
XP1	No uncertainty: both supply and demand are stable
XP2	Variance of demand for each buyer = 30%
XP3	Variance of supply for each supplier = 30%
XP4	Combined experiment #2 and #3

Ag	Description
A	search strategy, high propensity to compare prices, systematic negotiation, no loyalty
B	long term relation with one seller for each good, stable prices negotiated once and for all
C	same as B plus frequent check that other suppliers do not make better offers, capacity to change suppliers if a better offer
D	preferred relation with three sellers for each good, systematic comparison among these three and choice of the best offer
E	same as D plus frequent check that other suppliers do not make better offers, capacity to change suppliers if a better offer



# MABS

- Introduction
- KISS et l'ACE
- KIDS
- **Calibration et validation avancées**
- Modélisation participative



# Simulation distribuée à grande échelle

- Comment réaliser un système avec plusieurs millions d'agents?
- Problèmes:
  - Distribution
  - Calibration d'un très grand nombre d'agents
  - Validation
  - Analyse des logs
- Ex: EpiSimS, simulation pour étudier la diffusion d'un virus en Californie  
[Stroud et al. 2007]

# EpiSimS

- EpiSimS, simulation pour étudier la diffusion d'un virus en Californie  
[Stroud et al. 2007]
- Objectif:
  - Étudier la diffusion d'un virus en Californie à partir d'une simulation réaliste des déplacements/activités de chaque californien.
  - En particulier quels sont les facteurs les plus importants pour déterminer:
    - La probabilité d'infection
    - La progression dans le temps et dans l'espace du virus

# EpiSimS: Modèle

- Chaque agent correspond à un californien
  - 18,8 millions d'agents répartis en 8,8 millions de ménages
  - L'habitation de chaque ménage étant située dans un bloc géographique.
  - Chaque agent a un ensemble d'attributs, en particulier son état d'infection.
  - Chaque jour, chaque agent tire son agenda parmi un ensemble d'agenda-type correspondant à son ménage/activité
- Simulation des déplacements et des interactions au cours de chaque journée
- 938000 zones d'activité
- 700000 segments de route

**Table 1:** Selected attributes that characterize the state of each individual (i.e. the members of the EPerson class)

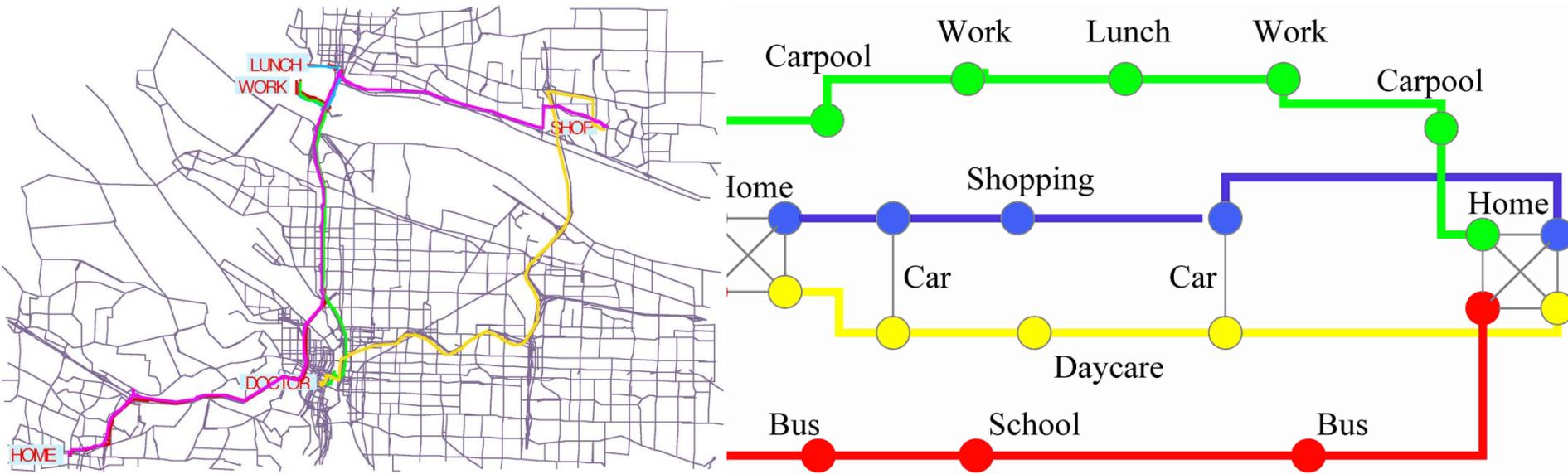
Attribute	Sub-attribute	Type	Description
fID		long	Unique identifier for each individual
fDemographics	EDemographics		Class that holds::
	s	int	Household size
	::fHHSIZE	long	Unique household id
	::hHHId	long	household's half-block id
	::fHomeLoc	int	Person's age (years)
	::fAge	int	male or female
	::fGender		
fPersonStatus	EPersonStatus		A person's disease-related history and status.
	::CurrentlyExposed	bool	
	::HasBeenInfected	bool	
	::HasBeenTreated	bool	
	::HasBeenContagious	bool	
	::IsRecovered		
	::HasBeenExposed		
	::IsDead		
fContacts		list of long	List of all other persons contacted by this person so far
fSchedule	Linked list of scheduleComponents, each having:		sequence of person's daily activities
	::location	long	building or block id
	::arrivalTime	time	activity start time
	::activityDuration	time	activity duration
	::activityType	int	enum of 8 activity types
fActivityEnum	EActivities		for each activity, the fraction of a person's contacts that would be traced, and the fraction of time the person would wear a mask
	::fFracFound	list of float	
	::fFracMaskUsage	list of float	
fGeneration		int	one plus the fGeneration of the person that infected this person.

# EpiSimS: implémentation

- Basé sur la simulation TransSim [Eubank 04], développée à Los Alamos pour étudier les transports en Californie
- Distribution
  - Chaque processeur est chargé d'un sous-ensemble de zones géographiques
  - Messages asynchrones entre processeurs pour les départs/arrivées
- LANL Coyote Cluster:
  - 1200\*2 processeurs, 10To RAM, 50To DD
  - 2\*360 jours de simulation en une nuit

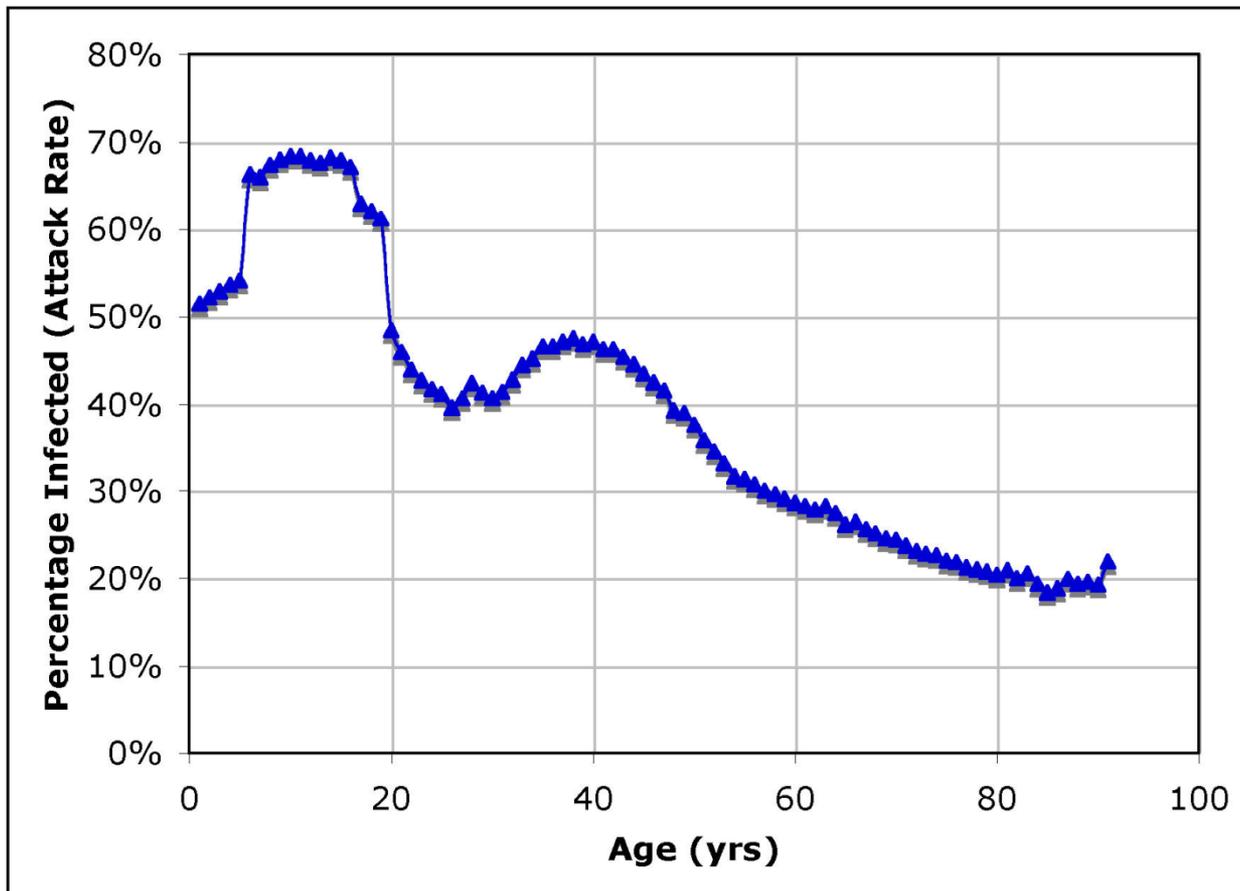
# EpiSimS: calibration

- Données empiriques:
  - Le nombre de personnes par ménages et leurs caractéristiques ont été déduits des recensements officiels.
  - Les caractéristiques du virus sont inspirés d'études médicales: 14 états possibles, de non infecté à mort, en passant par guéri ou en incubation.
  - Étude portant sur 60000 personnes ayant indiqué leur programme quotidien.
    - Chaque agent dispose d'un agenda comportant ses différentes activités de la journée: travail, shopping, restaurant, aller à l'école, aller chez le docteur,...
    - Pour chaque agent, le système tire aléatoirement un programme parmi ceux correspondant aux caractéristiques de l'agent et de son ménage.



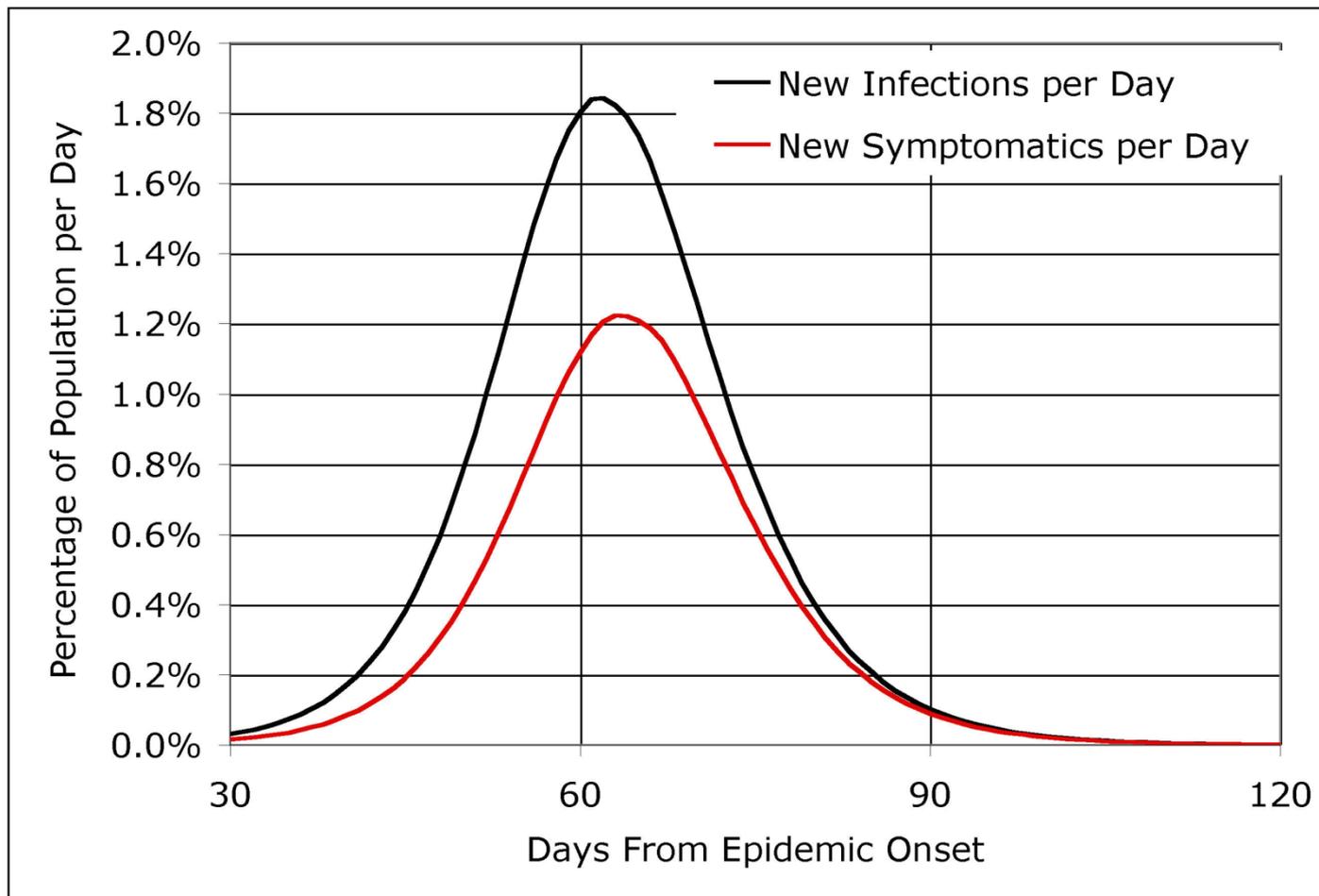
# EpiSimS: validation

- Comparaison aux données empiriques
- Ex: taux d'infection par âge conforme aux répartitions observées



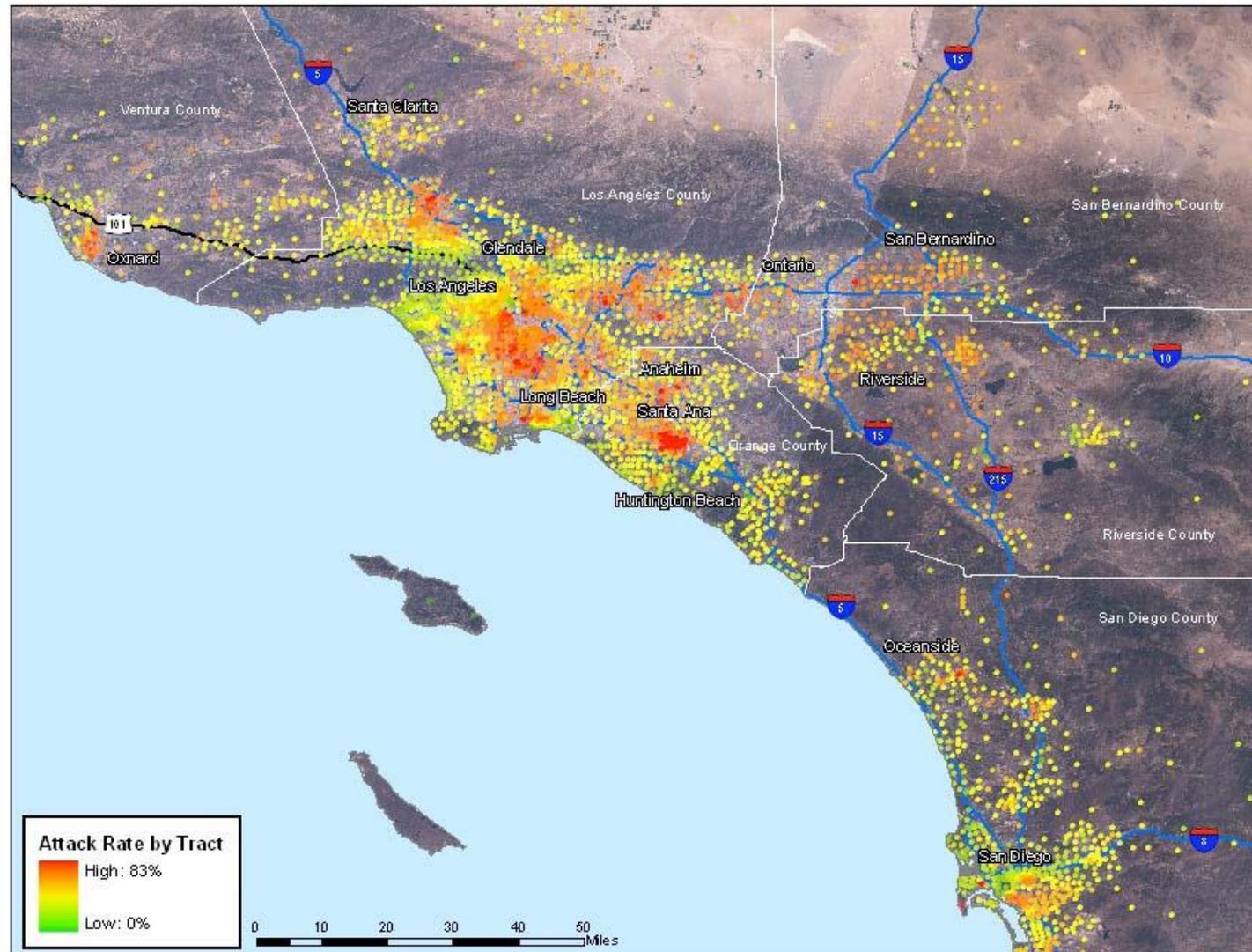
# EpiSimS: résultats

- Nombre d'infections par jour



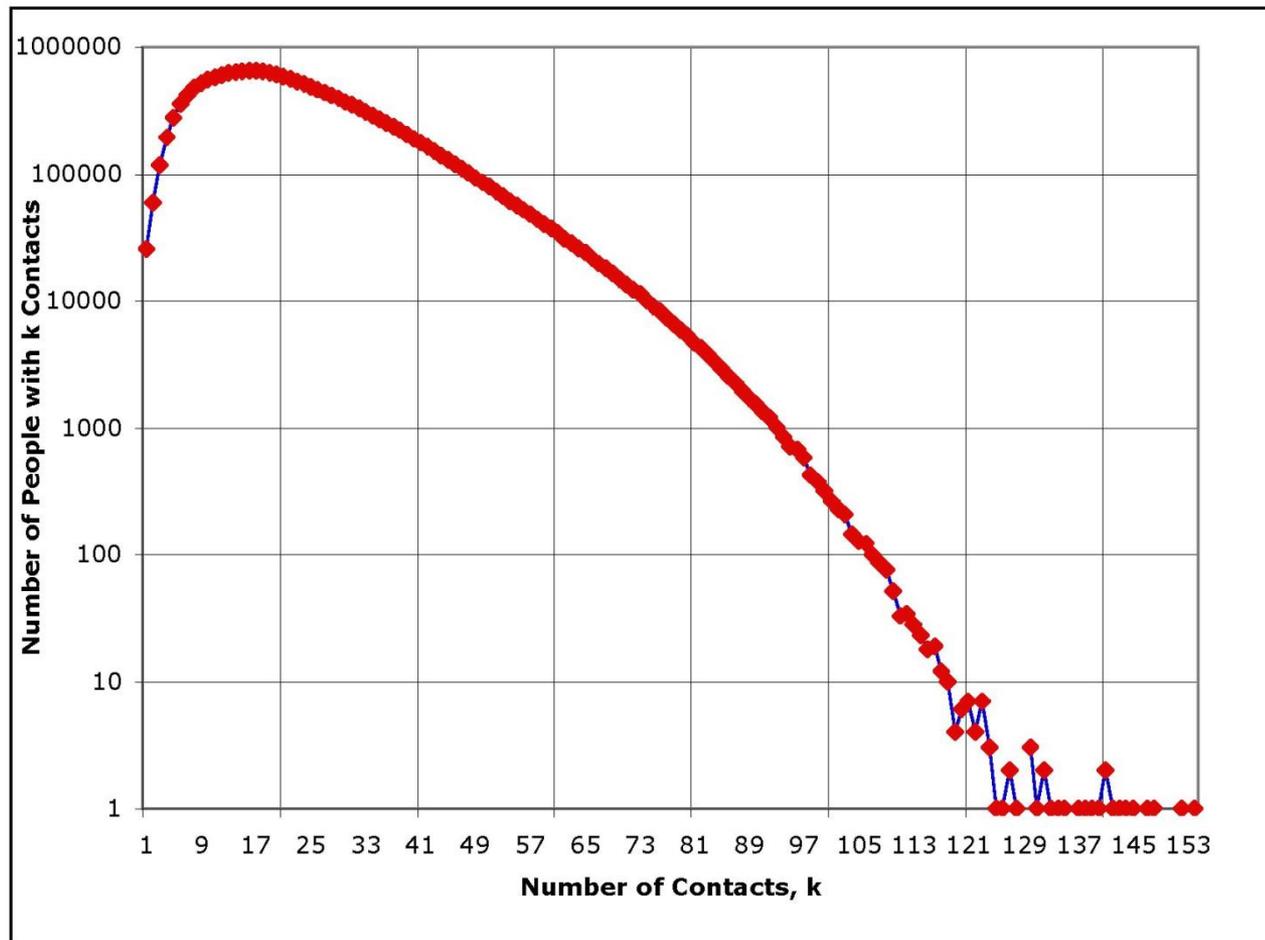
# EpiSimS: résultats

- Pôles d'infections



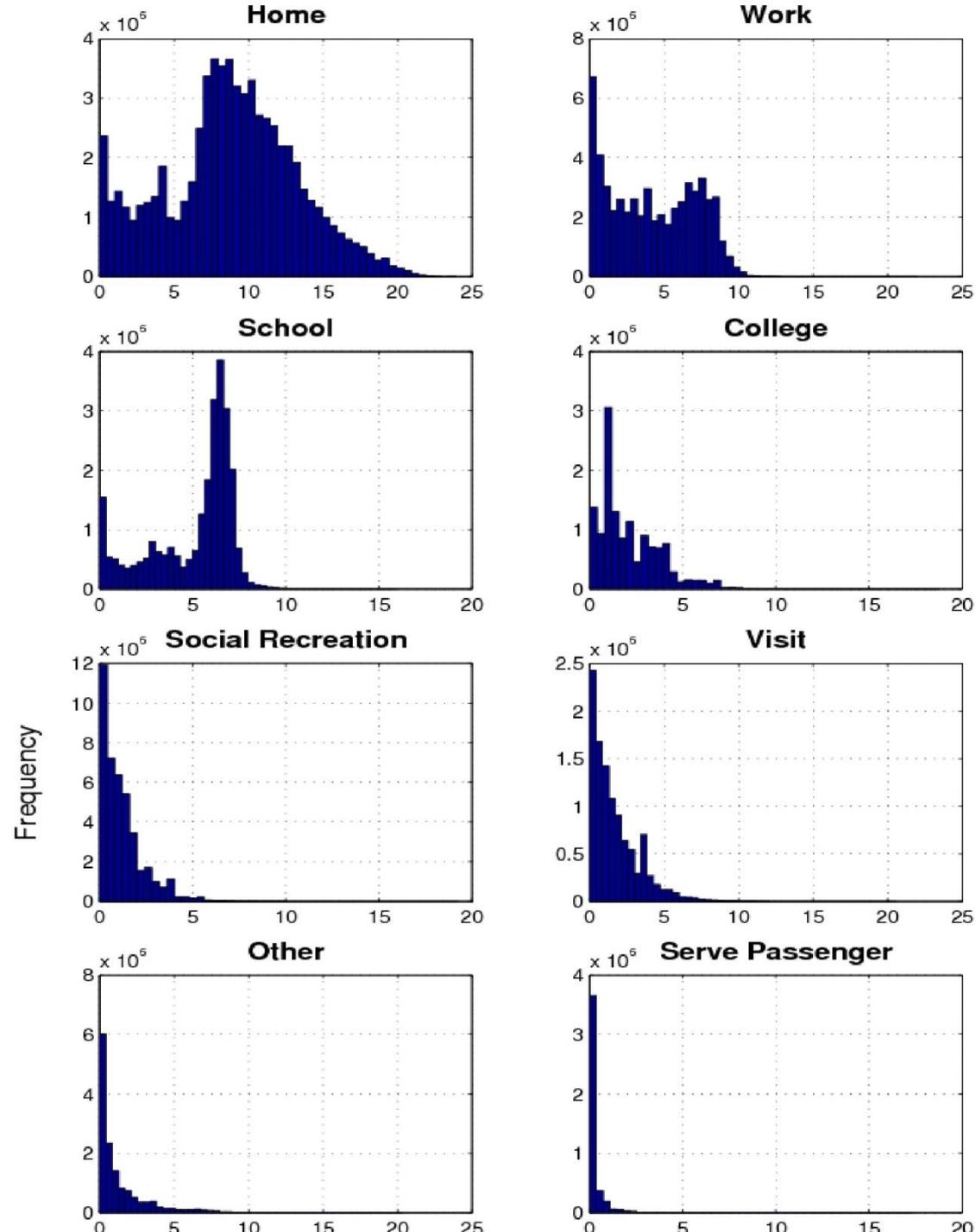
# EpiSimS: résultats

- Nombre de contacts par jour



# EpiSimS: résultats

- Temps de contact par activité

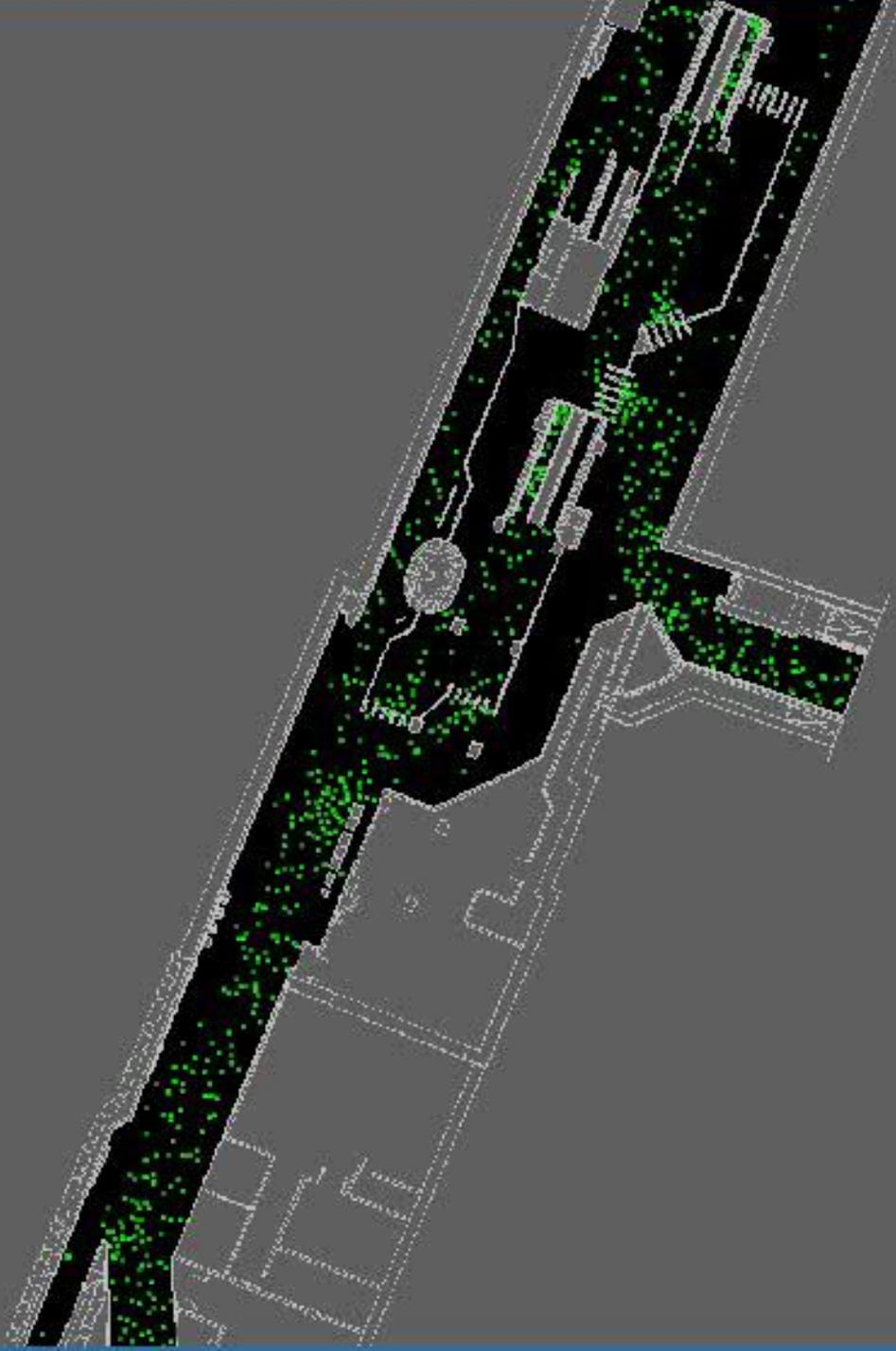


# Calibration et Validation

- Legion [www.legion.com](http://www.legion.com) [Knoflachner et al. 2005]

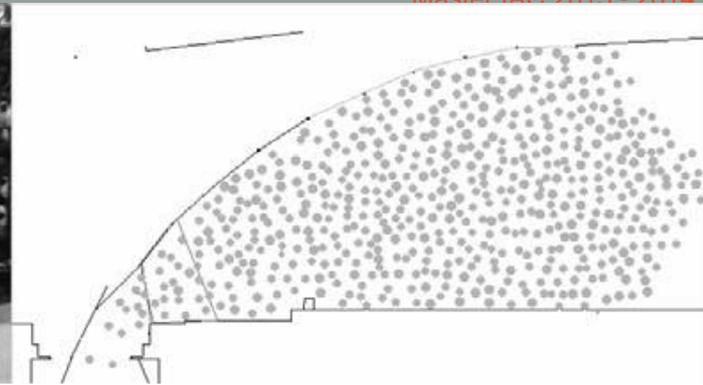


Leg



# Legion

- Objectif
  - Simulation de foule.
- Applications
  - Gare de Monaco juste après le grand prix de Formule 1
  - Stations de métro à Londres et New York



# Legion: Modèle

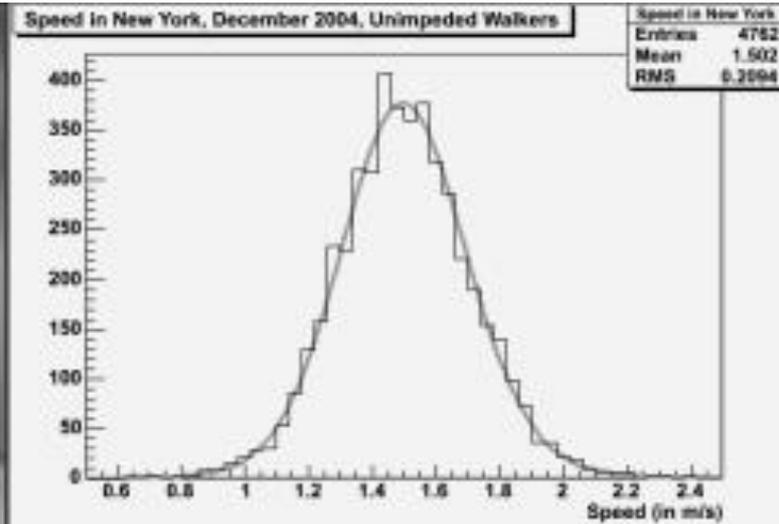
- Chaque individu est représenté par un agent.
  - Perception limitée
  - Environnement continu
- Chaque agent a un objectif qui est de se rendre à un point donné en minimisant son cout. Trois facteurs de cout:
  - Le dérangement: déplacement supplémentaire par rapport au trajet normal vers l'objectif
  - La frustration: cout impliqué par le non-respect de la vitesse préférée
  - La gêne: distance des autres personnes et des obstacles par rapport à l'espace personnel souhaité.
- Principaux paramètres de chaque agent:
  - Diamètre physique
  - Vitesse préférée
  - Espace personnel souhaité

# Legion: calibration

- Extraction à partir d'enregistrements vidéo des paramètres de calibration des agents utilisés par la simulation
  - Réutilisation dans d'autres applications avec le même type de population.
  - Le pointage sur écran des personnes se fait à la main assisté par l'ordinateur, du fait des fortes densités rendant les reconnaissances automatiques délicates.
- Les agents sont regroupés en catégories, avec des paramètres similaires.
  - Type d'agent (touriste, travailleur, supporter sportif, ...)
  - La région d'origine (Europe, Etats-Unis, Japon, ...)
  - Le contexte (intérieur, extérieur, escalier, escalator, ...).
  - ...
- Une loi de probabilité est définie pour chaque paramètre dans chaque catégorie.
  - Ex: pour un nouvel agent travailleur japonais, une valeur est générée pour chaque paramètre à partir de tous les travailleurs japonais observés, et ce pour chaque contexte possible (intérieur, extérieur, escalier, escalator, ...).

# Legion: calibration

- Metro de NY
- 4762 analyses

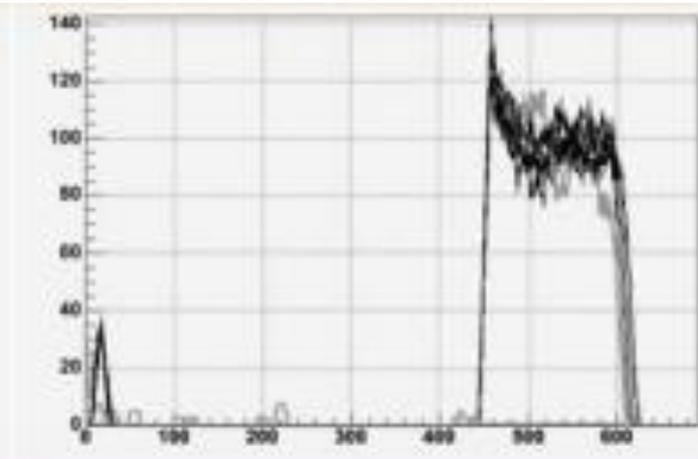
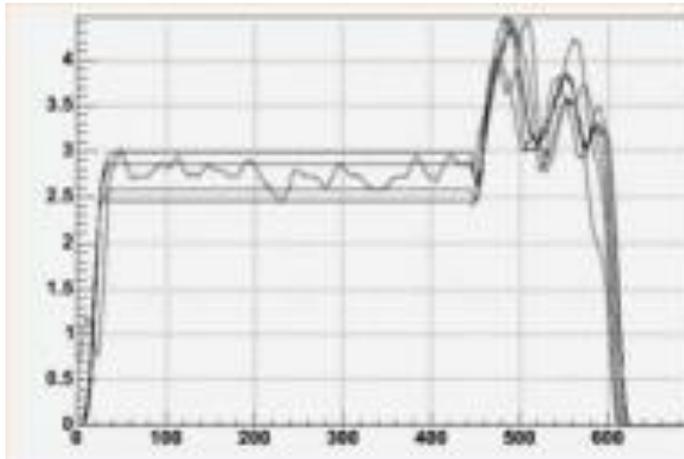


Source	Location	type of pedestrians	sample size	Speed Avge m/s	Speed Stdev m/s
Fruin <sup>5</sup> p40	New York (PABT+PENN)	Commuters	1000	1.35	
MAIA	New York Grand Central	Commuters	4762	1.50	0.21
MAIA	London Clapham Junction	Commuters	1043	1.55	0.23
MAIA	Hong Kong Port (open air)	Commuters	588	1.47	0.21
MAIA	Hong Kong Tsim Tsa Tsui	Commuters	485	1.32	0.22
MAIA	Hong Kong Tsim Tsa Tsui	Week Enders	1560	1.25	0.22
MAIA	Monaco Train station	Commuters	2524	1.40	0.19
MAIA	Leeds outside stadium	Football Egress	6777	1.43	0.20
Tanaboriboon <sup>13</sup>	Singapore Sidewalks		519	1.23	0.20

Ex de résultats

# Legion: validation

- Comparaison de l'évolution des valeurs observées et mesurées de la densité de la file à l'entrée de la gare de Monaco.
- Validation encore plus forte: comparaison des mêmes valeurs l'année suivante alors que la configuration de la file d'attente avait été changée
  - Modélisation individuelle valide et réutilisable malgré un changement de l'environnement
- Validation similaire pour une station de métro de Londres

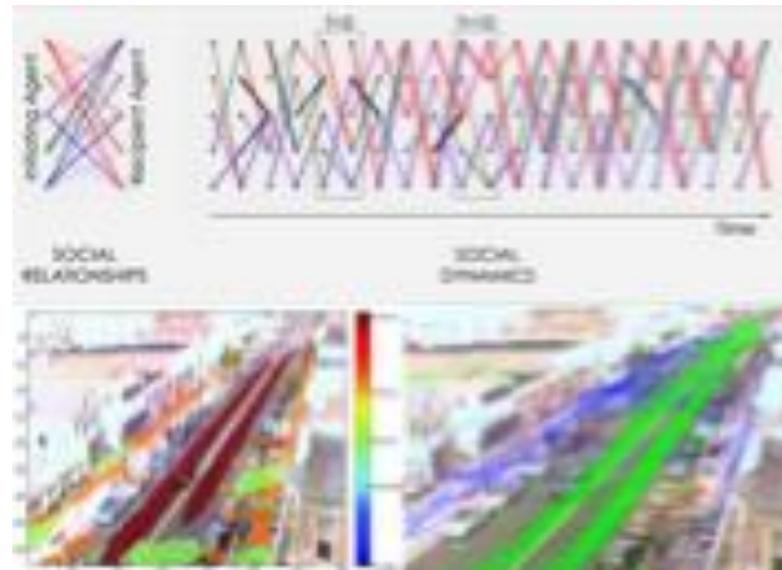


# Calibration a l'aide de Twitter

- Azmandian, M., Singh, K., Gelsey, B., Chang, Y., Maheswaran, R., , *Following Human Mobility Using Tweets* 2012 . In The Eighth International Workshop on Agents and Data Mining Interaction (ADMI)

22M de tweets avec geotags sur 1 an  
(3villes)

Déduction de patterns individuels, du  
réseau de transport, de comportement  
selon les jours...



## Validation par expérimentation, le comportement est-il réaliste et exprime-t-il une émotion?

- COR-E [Campano et al. AAMAS et JFSMA 2012]



Q1. Les comportements des personnages sont-ils crédibles ?

Pas du tout d'accord

pas d'accord

plutôt pas d'accord

moyennement d'accord

Plutôt d'accord

d'accord

tout à fait d'accord

sans opinion

Q2. Ces comportements sont-ils liés à des émotions chez les personnages ?

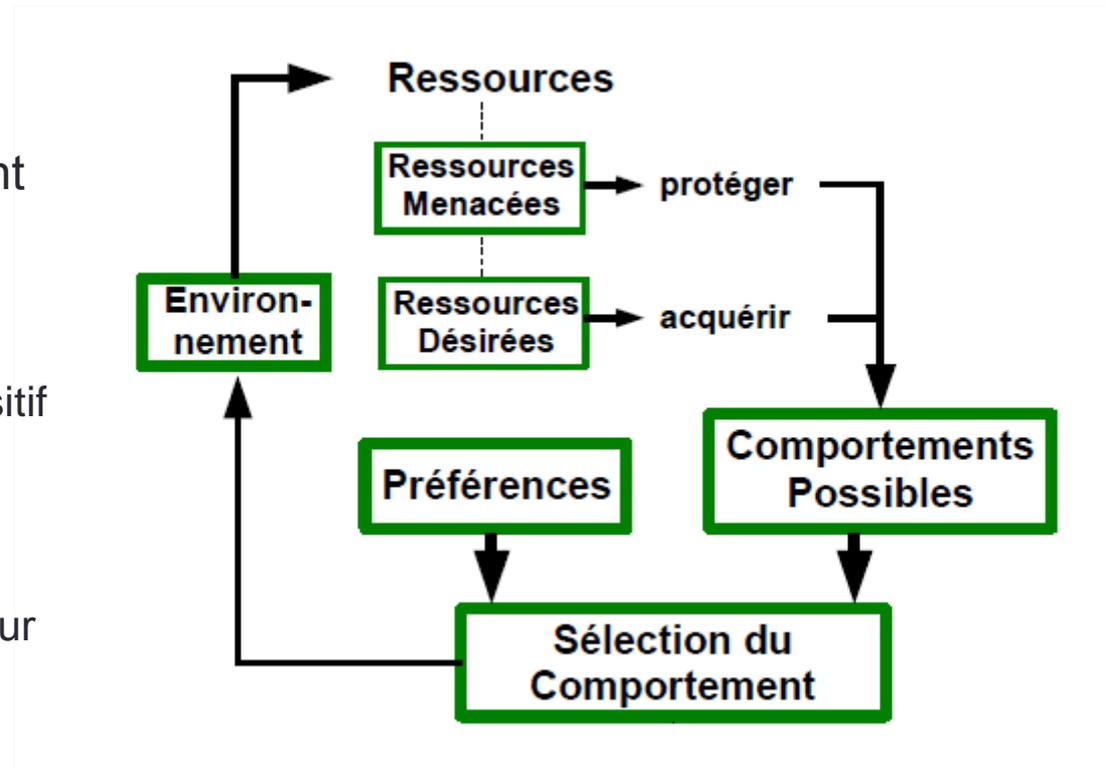
oui / non / sans opinion

Q3. Si oui, lesquelles (par ordre de préférence)

? Réponses possibles : colère / peur / tristesse / joie / dégoût / surprise / fierté / honte / mépris / amour / haine / ennui / frustration / autres / aucune

# Le modèle d'agent

- 3 ressources: la santé (0/1), la réputation (0/1/2), le rang (1/n)
- L'agent choisit le comportement qui est associé a la valeur maximale:
  - Les ressources protégée ou acquises sont comptées en positif
  - Les ressources menacées ou perdues en négatif
  - En cas d'égalité, la protection d'une ressource est favorisée sur l'acquisition
- Exemple: doubler permet de gagner une place mais fait perdre de la réputation.



# Les expérimentations sont définies pour tester des hypothèses

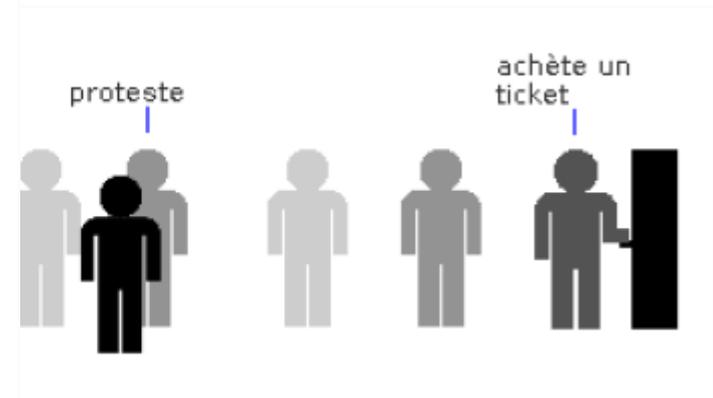
*H1* : COR-E devrait permettre de simuler des comportements émotionnels crédibles.

*H2* : les comportements d'acquisition et de protection devraient être nécessaires pour obtenir des comportements reconnus comme émotionnels.

*H3* : des préférences correctement configurées devraient être nécessaires pour obtenir des comportements crédibles.

*H4* : la simulation de la ressource psychologique *Reputation* devrait apporter plus de crédibilité.

*H5* : le niveau de menace dynamique devrait apporter plus de crédibilité.



# Paramétrage selon les expérimentations

## 1a-1c: H2

- 1a: comportements d'acquisition et de protection désactivés
- 1b: comportements d'acquisition activés mais pas les comportements de protection
- 1c: comportements d'acquisition et de protection étaient activés

## 2a-2c: H3

- 2a les préférences des agents correspondent à la configuration COR-E
- 2b, les préférences des agents configurées de sorte qu'une ressource de type Rang était toujours préférée à une ressource de type Reputation.
- 2c, les préférences des agents étaient configurées par tirage aléatoire. Le tirage aléatoire respecte néanmoins l'ordonnancement des ressources de même type entre elles (e.g. un rang  $i$  était toujours préféré à un rang  $i + 1$ ).

## 3a-3c: H5

- Un agent est colorié en vert, et ses préférences sont configurées de sorte qu'il ne double pas. Les préférences des autres agents sont configurées de façon à ce qu'ils doublent souvent.
- 3a, le niveau de menace de l'agent vert n'augmente pas.
- 3b le niveau de menace de l'agent vert a 50% de chances d'augmenter
- 3c 100% de chances d'augmenter.

## 4a-4b : H4

- 4a la ressource de réputation est présente,
- 4b absente, c'est à dire éliminée de l'environnement, des préférences et des ensembles de ressources des agents (NR). Les préférences sont configurées de sorte qu'une ressource de type Rang puisse être préférée à une ressource de type Sante.

*H1* : COR-E devrait permettre de simuler des comportements émotionnels crédibles.

*H2* : les comportements d'acquisition et de protection devraient être nécessaires pour obtenir des comportements reconnus comme émotionnels.

*H3* : des préférences correctement configurées devraient être nécessaires pour obtenir des comportements crédibles.

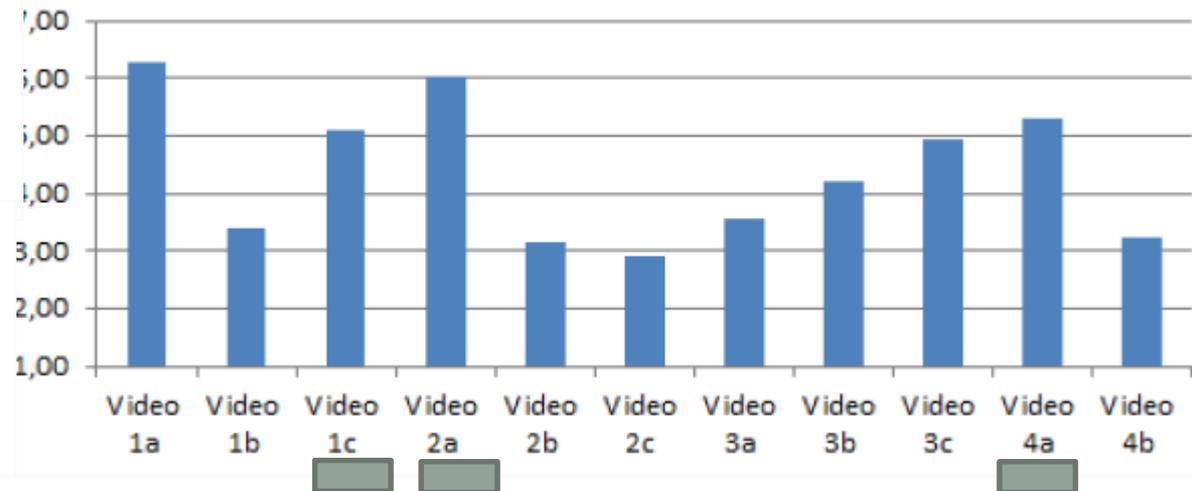
*H4* : la simulation de la ressource psychologique *Reputation* devrait apporter plus de crédibilité.

*H5* : le niveau de menace dynamique devrait apporter plus de crédibilité.

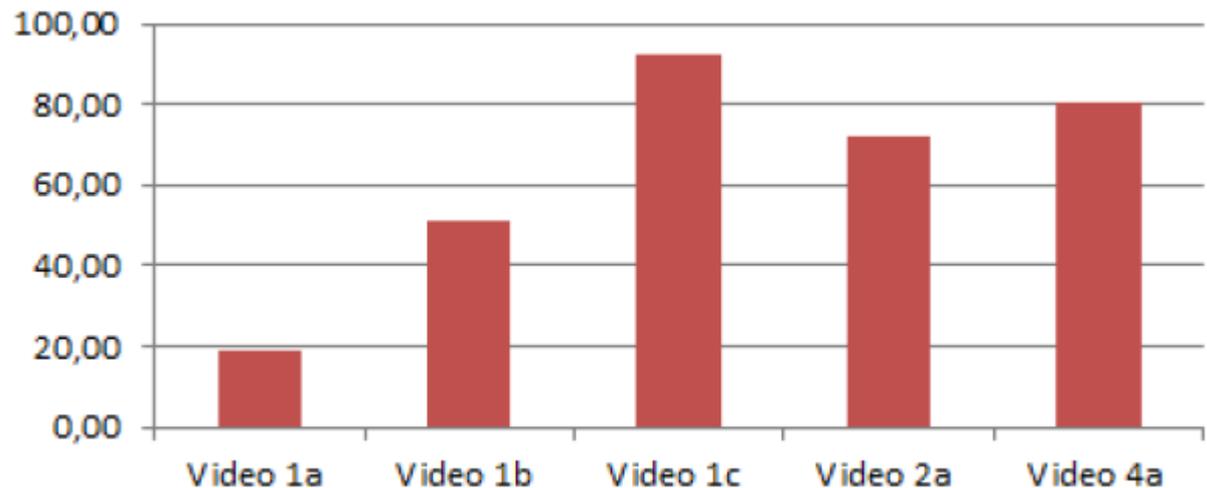
# Les tests sont toujours significatifs (t ou Chi2) $p < 0,001$

	$\mu$	$\sigma$	$Mo$
Vidéo 1c	5,08	1,51	5
Vidéo 2a	6,01	1,15	7
Vidéo 4a	5,28	1,31	5

	$\mu$	$\sigma$	$Mo$
Vidéo 1a	6,28	1,11	7
Vidéo 1b	3,41	1,78	2
Vidéo 1c	5,08	1,51	5



émotion	Vidéo 1c	Vidéo 2a	Vidéo 4a
colère	74,04%	48,15%	52,75%
peur	19,23%	12,35%	19,78%
tristesse	0%	0%	0%
joie	0,96%	1,23%	1,10%
dégoût	8,65%	4,94%	8,79%
surprise	32,69%	23,46%	30,77%
fierté	8,65%	7,41%	9,89%
honte	7,69%	22,22%	14,29%
mépris	24,04%	17,28%	28,57%
amour	0%	0%	0%
haine	2,88%	2,47%	1,10%
ennui	7,69%	18,52%	9,89%
frustration	51,92%	43,21%	45,05%
autres	4,81%	9,88%	6,59%



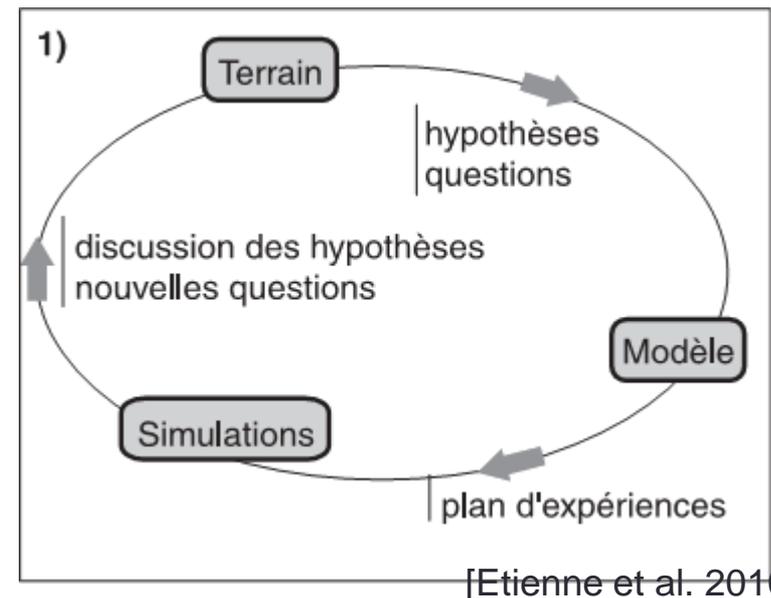


# Companion modelling

- Modélisation participative à l'aide de jeux de rôles et de simulations. Généralement appliquée à la gestion de ressources.
- Historique
  - Initiée par [Bousquet et al. 1996] [Barreteau 1998]
  - Charte en 2004
  - Guide méthodologique en 2010 [Etienne et al. 2010] chapitres disponibles sur internet sur la page ComMod
- Exemple:
  - Gestion de l'eau au Sénégal [Barreteau 1998]
    - Relations entre exploitants et autorités locales
  - Gestion de parc au Brésil (projet SimParc [Briot et al. 09])
    - Relations entre gestionnaires, environnementalistes, propriétaires, ...
- Objectifs:
  - Donner une vision d'ensemble aux acteurs et les sensibiliser aux différentes problématiques/approches
  - Modéliser leur comportement pour pouvoir tester des scénarios

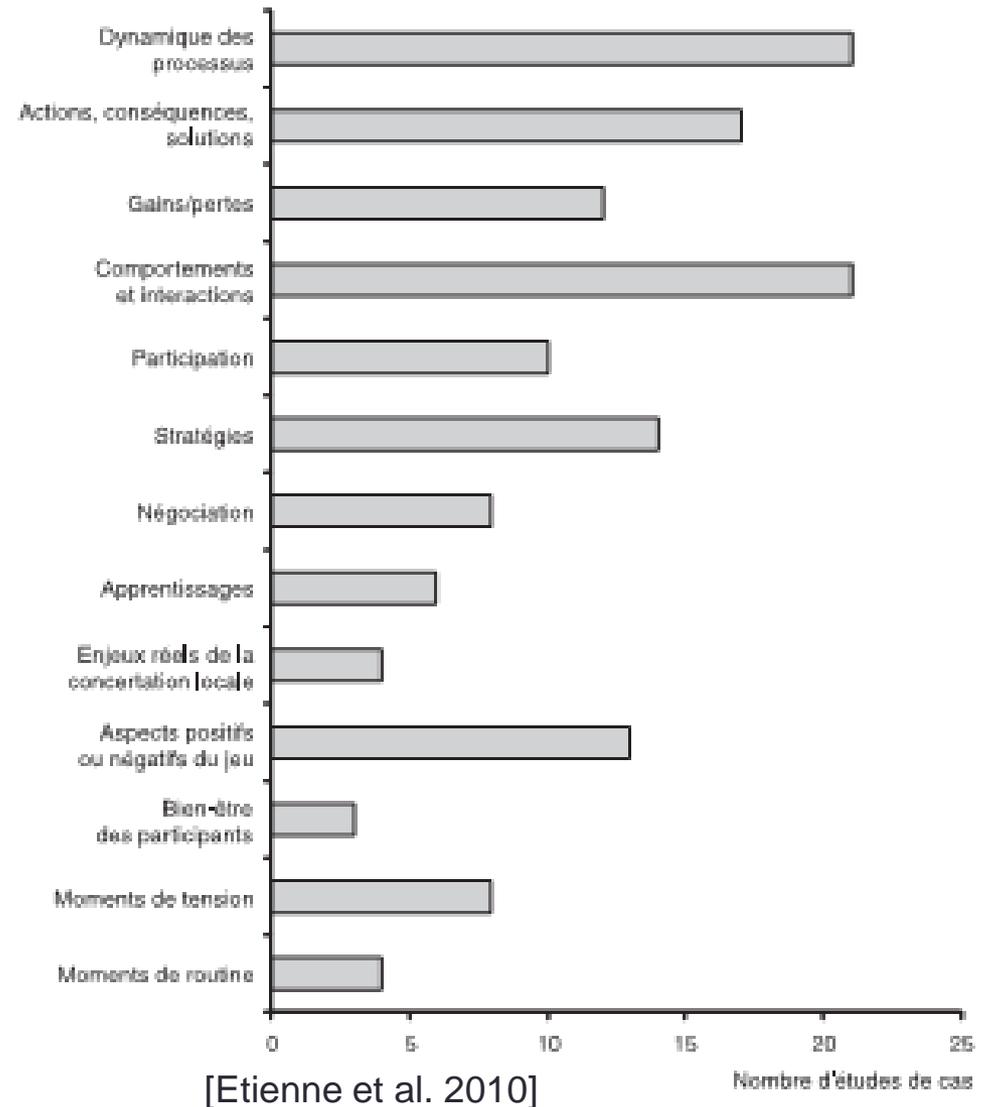
# Companion modelling

- Principes communs:
  - Phase de discussion afin que les acteurs décident ensemble de règles du jeu.
  - Phase de jeu de rôle pour que les acteurs évaluent ces règles par l'utilisation
  - Phase de simulation pour faire réfléchir les acteurs sur des résultats de scénarios simulés
- Points clés:
  - Démarche itérative
  - Participation des acteurs locaux
  - Recours à un modèle de simulation
  - Importance du temps de débriefing



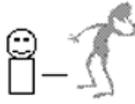
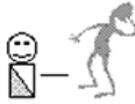
# Companion modelling

- Sujets de debriefing:



# Companion modelling

- Intérêt des SMA
  - Les acteurs réfléchissent à leur niveau, donc au niveau agent.
  - Modélisation et calibration facilitée.
- Rôles minimum du SMA
  - Saisie des décisions des agents humains
  - Calcul d'indicateurs liés aux performances des agents
  - Simulation de la dynamique de la ressource
  - Visualisation de l'espace
  - Spécification avec un langage informatique des décisions d'agents.
- Plusieurs types d'agents possibles:

Nature de la décision	Humaine à 100 %		Intermédiaire	Informatique à 100 %
Typologie des agents modélisés	Agent humain : joueur	Agent composite simple	Agent composite hybride	Agent informatique : agent virtuel
				
	Pas d'avatar	Avatar non décisionnel	Avatar partiellement décisionnel	Avatar autonome

[Etienne et al. 2010]

# Companion modelling

- Rôle le plus complexe:
  - Remplacer un agent humain
- Extraction de connaissances lors de jeux de rôles
  - Vers agents BDI [Briot et al. 09]
  - Vers agents à base de règles [Quijano et al 10]