

Détection de comportements au travers de modèles multi-agents collaboratifs, appliquée à l'évaluation de la situation, notamment en environnement asymétrique avec des données imprécises et incertaines

# Jérémy Patrix

Soutenance de thèse

12 / 12 / 2013

Abdel-Ilhah Mouaddib



# Les Comportements Collectifs dans les Environnements Asymétriques



- Émeutes et Foules en panique



# Problème

- Dans une situation de crise, l'évaluation de la situation est ingérable à cause de :
  - la complexité de l'environnement.
  - les ressources limitées des forces de sécurité.Difficultés → à identifier les menaces émergentes.  
→ à interpréter et à gérer le comportement de foule.
- Le besoin :
  - Des observations réelles des comportements collectifs → rares, faible quantité, mauvaise qualité
  - Des approches de détection des comportements multi-agents → récent domaine de recherche
- Solution :
  - Simulation de scénarios asymétriques en utilisant un *serious game*
  - Application d'innovations (brevetées) + optimisation de techniques existantes

# Les termes du sujet

*Détection de comportements au travers de modèles multi-agents collaboratifs, appliquée à l'évaluation de la situation, notamment en environnement asymétrique avec des données imprécises et incertaines.*

- Dans la littérature, les termes suivants ont orienté notre état de l'art :
  - Un **comportement collectif** :
    - L'observation d'une **séquence d'actions** par un groupe suivant un **objectif partagé**.
  - Une **observation** :
    - Un ensemble de **variables** obtenues à un instant donné de la situation à propos d'une **entité**.
  - Un **environnement asymétrique** :
    - Des **activités humaines** présentes en deux **catégories distinctes** et opposées.

# Les termes du sujet

*Détection de comportements au travers de modèles multi-agents collaboratifs, appliquée à l'évaluation de la situation, notamment en environnement asymétrique avec des données imprécises et incertaines.*

- Dans la littérature, les termes suivants ont orienté notre état de l'art :
  - Une **évaluation de la situation** :
    - (1) La perception des éléments de l'environnement dans un volume de temps et d'espace, (2) la compréhension de la situation et (3) leur projection de leur statut dans le futur proche. [Endsley, 1995]
    - Comment l'obtenir : la fusion de données tel que le traitement d'événements complexes.
  - Comment prendre en compte les **informations incertaines** et **imprécises** ?
    - Un modèle probabiliste : le modèle de Markov caché.
  - Comment contourner la complexité de leur **détection** des comportements d'une foule ?
    - Un modèle multi-agents sur les niveaux d'observations macro, **meso** et micro.

---

# Sommaire

## 01

Solutions européennes  
Les projets EUSAS & DEM@CARE

## 02

État de l'art  
La détection des comportements collectifs

## 03

Contributions  
Une détection multi-agents sur les niveaux d'observation macro, meso et micro

## 04

Expérimentations  
Une simulation de foule en panique  
Une détection des groupes, de leurs comportements, objectifs et intentions

---

# Sommaire

01

Solutions européennes  
Les projets EUSAS & DEM@CARE

02

État de l'art  
La détection des comportements collectifs

03

Contributions  
Une détection multi-agents sur les niveaux d'observation macro, meso et micro

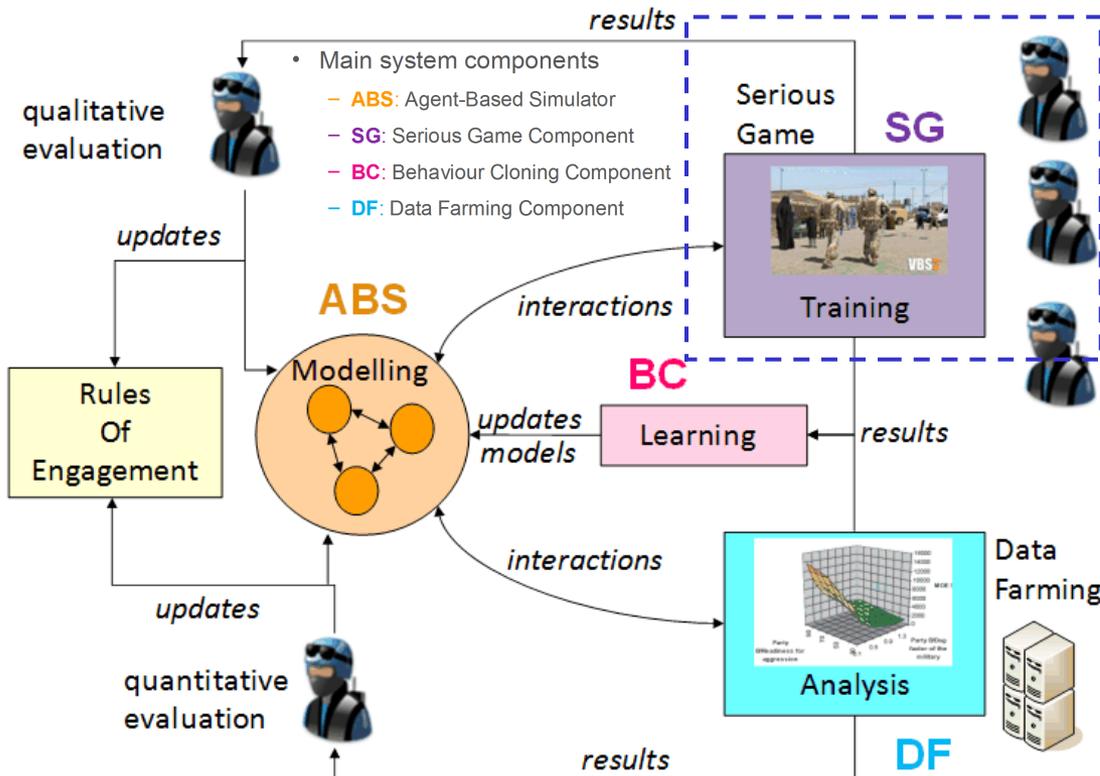
04

Expérimentations  
Une simulation de foule en panique  
Une détection des groupes, de leurs comportements, objectifs et intentions

# EUSAS

## Simulation Urbaine Européenne de Scénarios Asymétriques

Objectif : développer, démontrer et délivrer une nouvelle approche pour l'analyse de mission et l'entraînement d'unités de terrain face aux menaces asymétriques en environnements urbains.



- Notre **plugin** permet une communication bidirectionnel entre le *serious game* VBS2 et un composant externe.

→ Permet de contrôler les agents de VBS2 par un système multi-agents et d'en obtenir tous les événements en temps réel pendant le scénario.

# Scénario : Des troubles devant l'entrée d'une base militaire



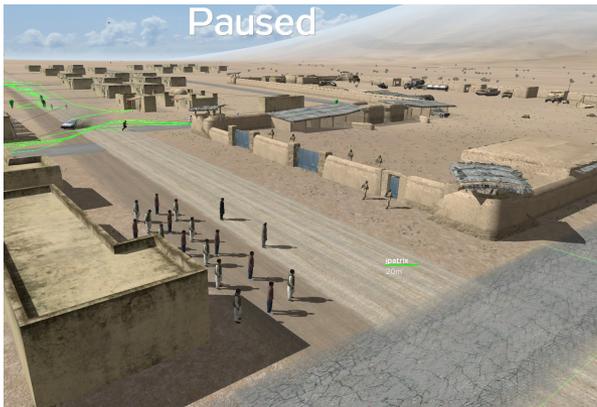
En **communicant** avec les leaders de la foule des civils,

les soldats doivent choisir + apprendre l'action correcte parmi leur **règles d'engagement**

en fonction du **comportement de la foule** qu'ils observent.

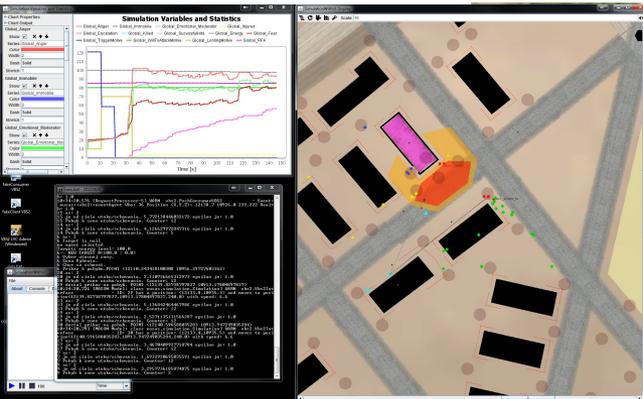
Sinon, la situation devient **instable**.

# Scénario : Des troubles devant l'entrée d'une base militaire



Icon	Civilian action	Soldier response	Icon
(o_o)	Negotiate (only civilian leaders)	Communicate calm	(o_o)
(-_-)	Provoke slightly	Communicate warning	(O_O)
('_')	Provoke aggressively	Gesticulate	(~_~)
(>_<)	Threaten	Show of weapon	('_')
\('_' )/	Attack without weapon	Load gun	(>_<)
\(>_<)/	Attack by throwing stone	Warning shot in the air	\('_' )/
\(>_<)/	Repeated throwing stone	Effective shot	\(>_<)/

# Scénario : Intervention au contact d'une foule pillant un magasin



# Expérimentations de l'entraînement de nos soldats



*Le 20 juin 2012,  
cette dernière expérimentation a donnée de  
bons résultats.*

- Une représentation 2D de la situation
  - Un chef de section donne les ordres
  - Apprentissage des meilleurs actions selon les comportements de la foule
- Toutes les actions et les événements sont enregistrés pour l'analyse de la mission et la mise à jour des modèles.
- Les opérateurs ont compris intuitivement comment utiliser VBS2 et s'entraîner.

✓ Simulation de scénarios asymétriques en utilisant un *serious game*.  
Dans la réalité comment obtenir ces données ?

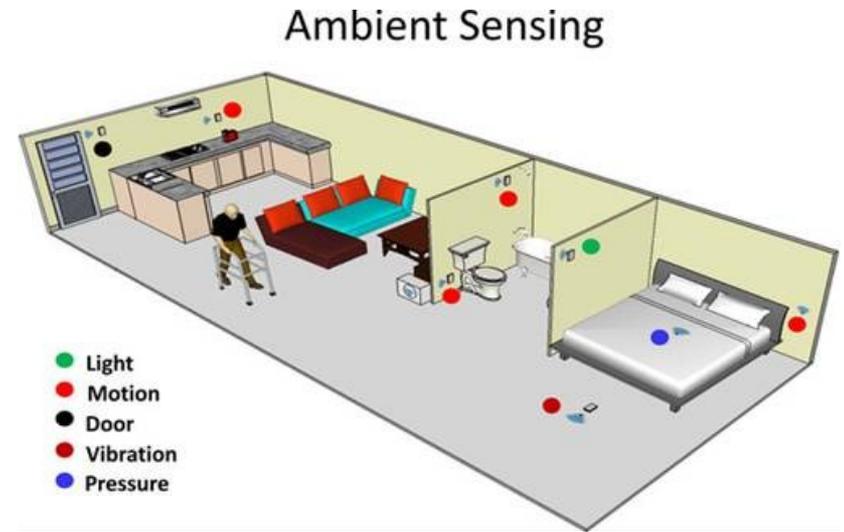
# Le projet DEM@CARE (2011-2015)

- *Dementia Ambient Care:*  
*Multi-Sensing Monitoring for Intelligent Remote Management and Decision Support*
  - Objectif : préserver l'indépendance des personnes touchées, leurs proches et leurs auxiliaires de vie.
  - Solution : développer un système de surveillance ciblant les personnes ayant des troubles liés à la démence pour un diagnostic personnel.
- Ce système :
- améliore le diagnostic personnalisé,
  - permet l'indépendance et la sécurité du patient (alertes et données sécurisées),
  - fait progresser la recherche clinique
  - est testé actuellement au CHU de Nice, aux laboratoires LTU (Suède) et DCU (Dublin).

# Application de la fusion de données sur un réseau multi-capteurs pour obtenir une évaluation de la situation

Nos outils :

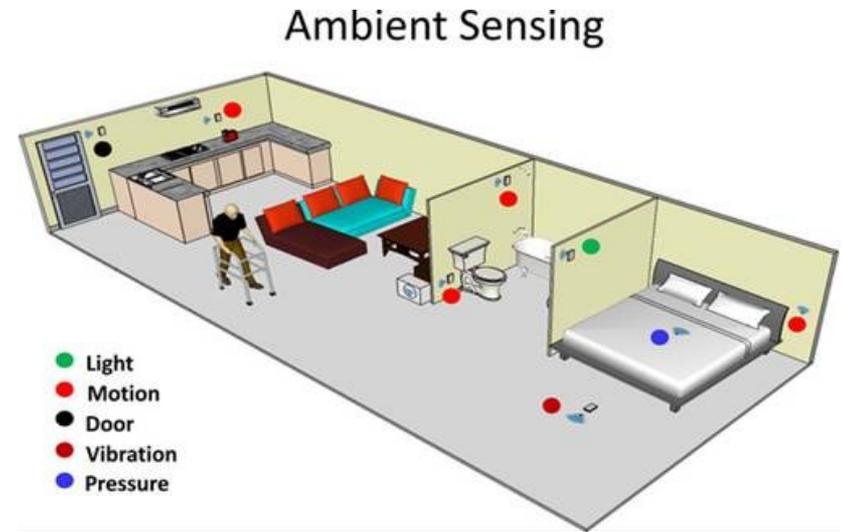
- **CEP** (*complex event processing*) pour la fusion de données : un système expert pour le **traitement d'événements complexes** qui utilisent des règles de filtrage et d'agrégation.
- **SOA** (*service oriented architecture*) : une **architecture logicielle de services web**, avec un modèle d'échange et des interfaces communes.



# Application de la fusion de données sur un réseau multi-capteurs pour obtenir une évaluation de la situation

Nos outils :

- **CEP** (*complex event processing*) pour la fusion de données : un système expert pour le **traitement d'événements complexes** qui utilisent des règles de filtrage et d'agrégation.
- **SOA** (*service oriented architecture*) : une **architecture logicielle de services web**, avec un modèle d'échange et des interfaces communes.



Processus du système dem@care :

- 1) Chaque service analyse les données de ses capteurs.
  - 2) Fusion des données d'observations analysées
    - par CEP → alerte en temps réel.
    - par un analyseur sémantique → journal quotidien du patient (activités, comportements, états physiques et cognitifs).
- ✓ La **chronolocalisation** des smartphones nous fournit les données d'observations.

# Problématique

- Origine des données de surveillance (projets) :
  - Un système de surveillance multi-capteurs : **la chronolocalisation**.
  - Une simulation d'environnements asymétriques : **un *serious game***.
  - ✓ **Données d'observations pour les tests**.
- Traitement des observations :
  - Évaluation de la situation par la fusion de données : **CEP** (traitement d'événements complexes).
  - Gestion de l'incertitude et de l'incomplétude des informations : modèles probabilistes ?
- Comportements collectifs :
  - Quelles théories sociologiques pour les modéliser ?
  - Quel niveau de modélisation : macro, meso, micro ?
  - Approche de détection : identification, classification, apprentissage, reconnaissance, anticipation ?
  - Détection : des groupes, de leurs comportements, de leurs objectifs, de leurs intentions ?

---

# Sommaire

01

Solutions européennes  
Les projets EUSAS & DEM@CARE

02

État de l'art  
La détection des comportements collectifs

03

Contributions  
Une détection multi-agents sur les niveaux d'observation macro, meso et micro

04

Expérimentations  
Une simulation de foule en panique  
Une détection des groupes, de leurs comportements, objectifs et intentions

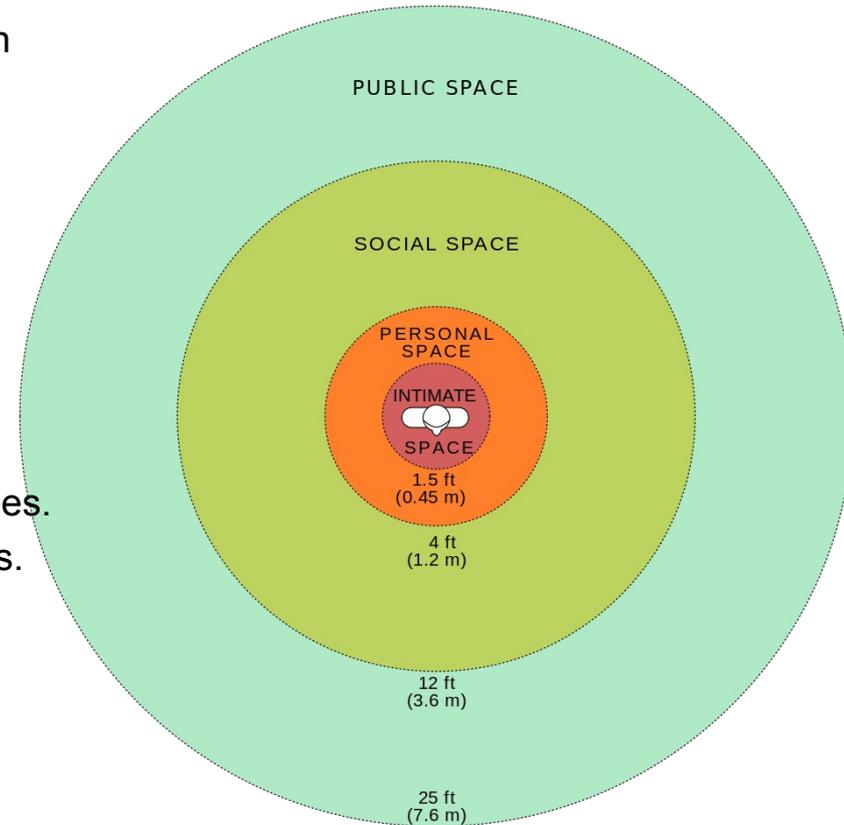
# La détection de groupes par la proxémie

La proxémie :

- établit une distance physique entre les personnes selon leur interaction sociale;
- sépare l'espace intime, personnel, social et public des gens;
- varie selon les cultures et les lieux d'interactions.

La détection de groupe se base sur le regroupement hiérarchique micro / macro et la proxémie :

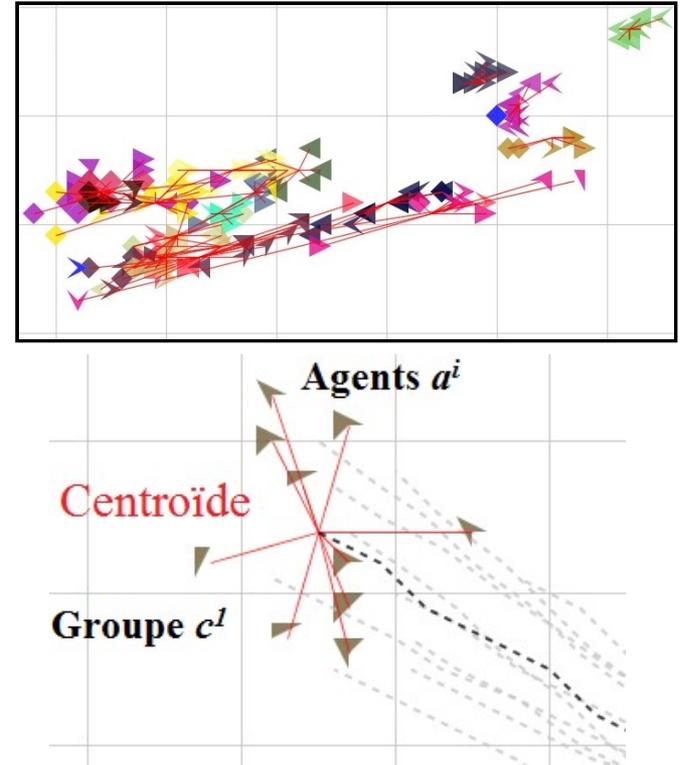
- *TopDown* : la foule = une entité se découpant en groupes.
- *BottomUp* : fusion de chaque paire d'entités en groupes.
- La composition des groupes est maintenue à jour par l'historique des mouvements.
- Les croisements des groupes en mouvement les font fusionner temporairement.



[Hall, 1974]

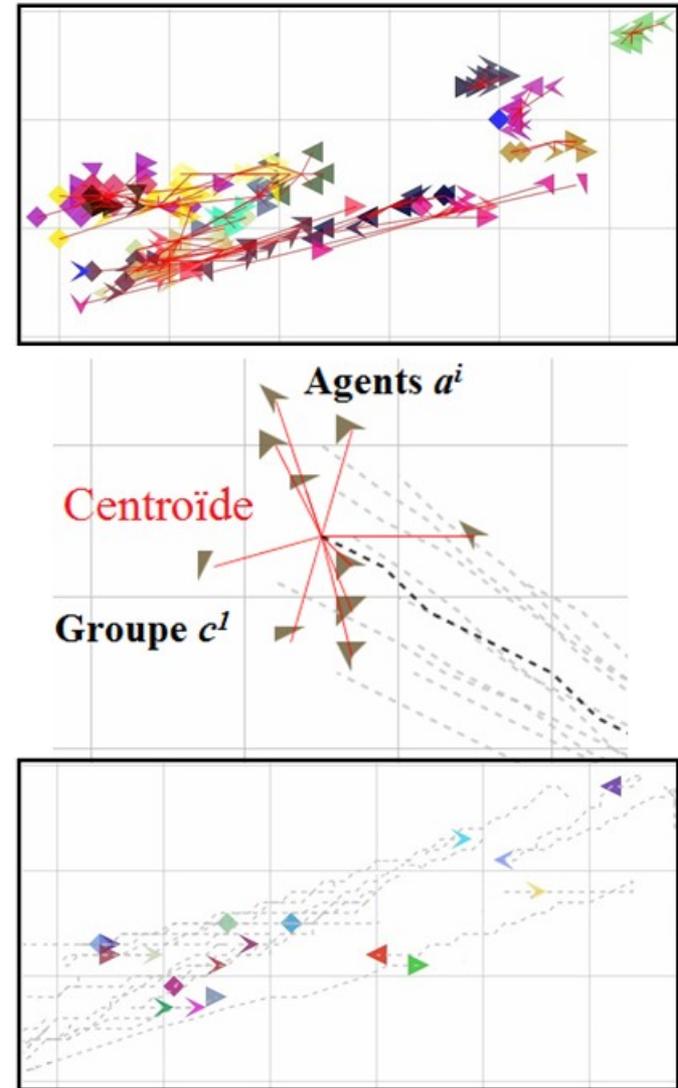
# Le centroïde, une modélisation de groupe

- Détection du comportement de chaque individu d'une foule.  
→ **complexité** ingérable au niveau micro.
- Solution au niveau **meso** : la modélisation de chaque groupe en une seule entité.
- L'état **centroïde** : un vecteur où chaque variable a comme valeur la moyenne de celles de tous les membres du groupe.



# Le centroïde, une modélisation de groupe

- Détection du comportement de chaque individu d'une foule.  
→ **complexité** ingérable au niveau micro.
  - Solution au niveau **meso** : la modélisation de chaque groupe en une seule entité.
  - L'état **centroïde** : un vecteur où chaque variable a comme valeur la moyenne de celles de tous les membres du groupe.
- **Complexité** de représenter la situation fortement réduite.
- Une **observation incomplète** et/ou **incertaine** d'un membre d'un groupe (de  $n$  membres) n'affectera l'état centroïde du groupe qu'au  $1/n^{\text{ème}}$ .



# Apprentissage et Reconnaissance de comportements

- L'approche la plus courante pour la détection de comportements est

*le Modèle de Markov Caché* et ses extensions pour :

- { identification, apprentissage, reconnaissance } de séquences de  
  
{ configuration < activité < plan < politique < objectif < intention }  
  
parfois en prenant en compte les { rôles, émotions } des agents  
  
produit { simultanément, hiérarchiquement (des actions primitives aux activités abstraites) }  
  
par des groupes d'agents (dynamiques par le nombre de membres)

Pour les environnements asymétriques :

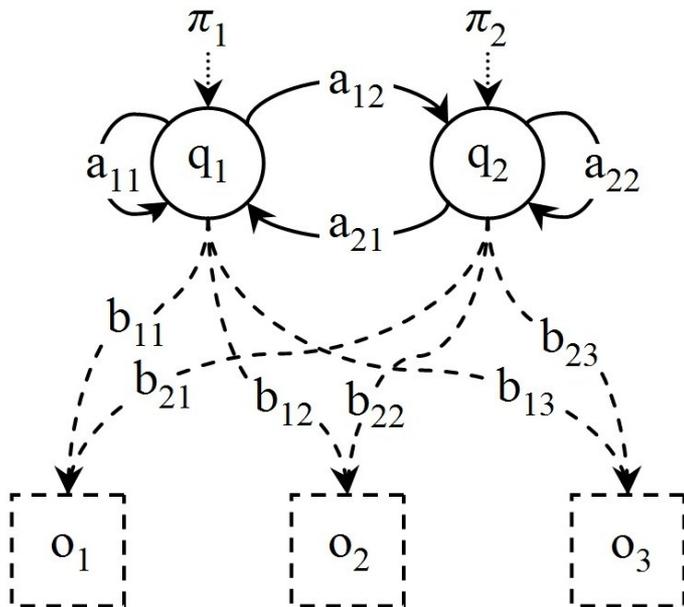
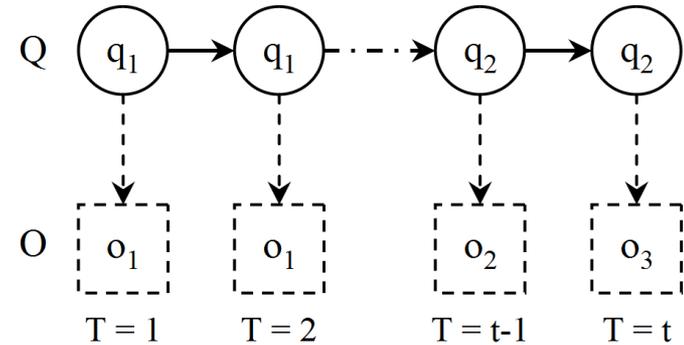
MOUT (*Military Operation in Urban Terrain*),

JUO (*Joint Urban Operation*),

MOOTW (*Military Operation Other Than War*)

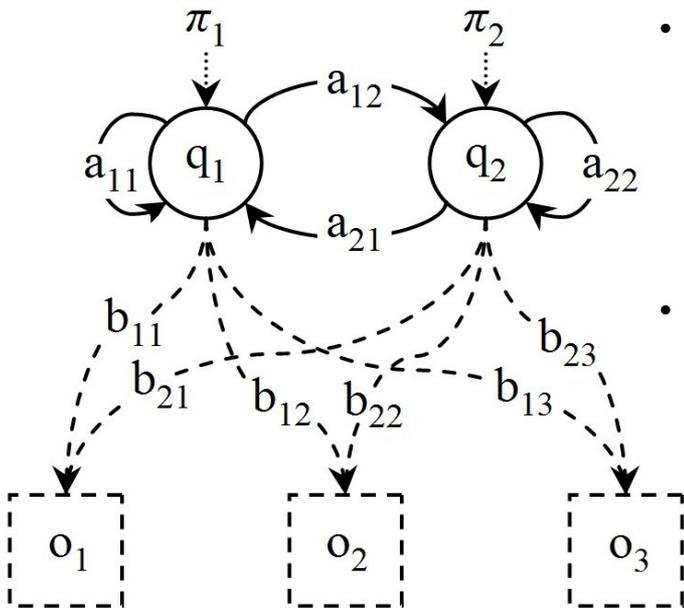
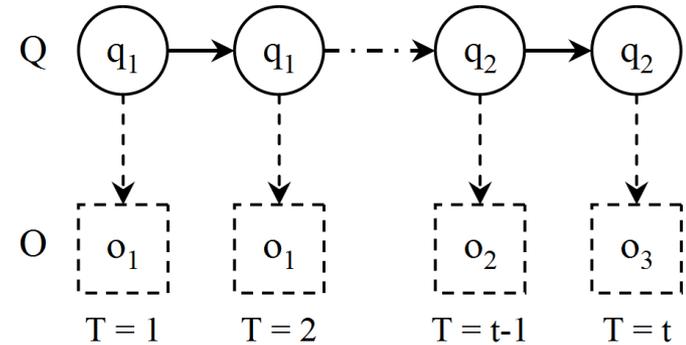
# HMM (modèle de Markov caché)

- est défini par un 5-uplet  $\langle Q, A, O, B, \Pi \rangle$  :
  - $Q$  un ensemble fini d'*états cachés* ;
  - $A$  un ensemble fini de *probabilités de transition* entre ces états ;
  - $O$  un ensemble fini d'*états observables* ;
  - $B$  un ensemble fini de *probabilités d'émission* ;
  - $\Pi$  un ensemble fini de *probabilités d'état initial* ;



# HMM (modèle de Markov caché)

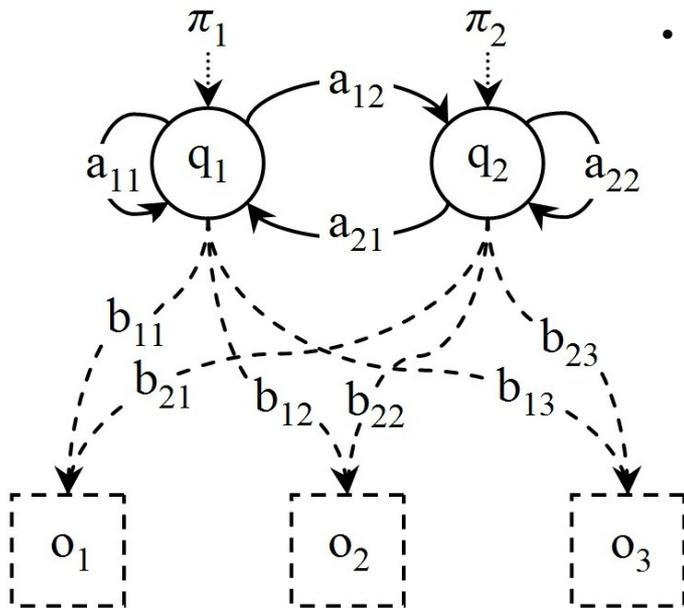
- est défini par un 5-uplet  $\langle Q, A, O, B, \Pi \rangle$  :
  - $Q$  un ensemble fini d'*états cachés* ;
  - $A$  un ensemble fini de *probabilités de transition* entre ces états ;
  - $O$  un ensemble fini d'*états observables* ;
  - $B$  un ensemble fini de *probabilités d'émission* ;
  - $\Pi$  un ensemble fini de *probabilités d'état initial* ;



- Chaque *séquence d'observations* correspond à une *séquence d'états cachés* :
    - $\{o_1, o_2, o_3\} \rightarrow \{q_1, q_2, q_2\}$
    - $\{o_3, o_2, o_1\} \rightarrow \{q_2, q_2, q_1\}$
  - Deux séquences différentes* d'observations peuvent correspondre à une *même* séquence d'états cachés :
    - $\{o_3, o_2, o_1\} \rightarrow \{q_2, q_2, q_1\}$
    - $\{o_3, o_3, o_1\} \rightarrow \{q_2, q_2, q_1\}$
- Différentes séquences d'états cachés peuvent représenter un *même comportement*.

# HMM (modèle de Markov caché)

- est défini par un 5-uplet  $\langle Q, A, O, B, \Pi \rangle$  :
  - $Q$  un ensemble fini d'*états cachés* ;
  - $A$  un ensemble fini de *probabilités de transition* entre ces états ;
  - $O$  un ensemble fini d'*états observables* ;
  - $B$  un ensemble fini de *probabilités d'émission* ;
  - $\Pi$  un ensemble fini de *probabilités d'état initiale* ;



- Nous utilisons deux algorithmes :

- *Baum-Welch* : apprend un HMM à partir des séquences d'observations ;  
→ un HMM par comportement.
- *Forward-Backward* : calcule la probabilité que la séquence d'observations corresponde à un HMM appris ;  
→ cet algorithme est appliqué sur chaque HMM et le comportement sélectionné est celui ayant la plus forte probabilité.

# Synthèse de l'état de l'art

Modélisation	Micro	Meso	Macro	Environnement dynamique
Théories de simulation	Agents	<i>Swarm Intelligence (flocking)</i>	Système multi-agents	
Groupes	Approche <i>BottomUp</i>	Oui, mais <b>fusion / fission</b> lors de croisement / évitement	Approche <i>TopDown</i>	Oui, mais <b>incertitude</b> + nb de calculs augmentés
Comportements	Oui, mais <b>Sur-apprentissage</b> + <b>complexité ingérable</b> sur les foules	<b>Centroïde</b> + <b>Modèle de Markov caché (HMM)</b>	Oui, mais <b>généralisation excessive</b> + <b>inutile</b> dans le cas de groupes d'agents hétérogènes	Non, sauf si approche contextuelle ( <b>ontologies</b> )
Objectifs		Oui, mais <b>approches approximatives</b> pour gérer la complexité des HMM hiérarchisées		
Intentions				
Tout	Notre modèle multi-agents micro – meso – macro ?			

---

# Sommaire

**01** Solutions européennes  
Les projets EUSAS & DEM@CARE

**02** État de l'art  
La détection des comportements collectifs

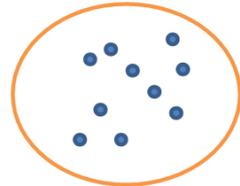
**03** Contributions  
Une détection multi-agents sur les niveaux d'observation macro, meso et micro

**04** Expérimentations  
Une simulation de foule en panique  
Une détection des groupes, de leurs comportements, objectifs et intentions

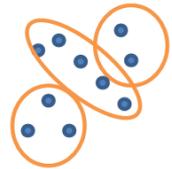
# Évaluation de la situation pendant une situation à risque



Macro



Meso



Micro

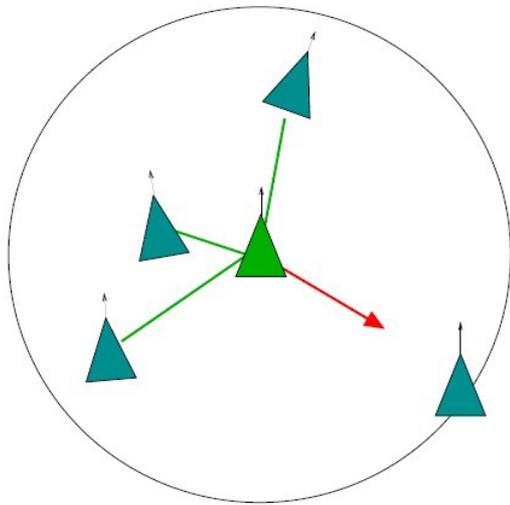


Une foule de 200 personnes marchant dans la rue → Trois niveaux de modélisations

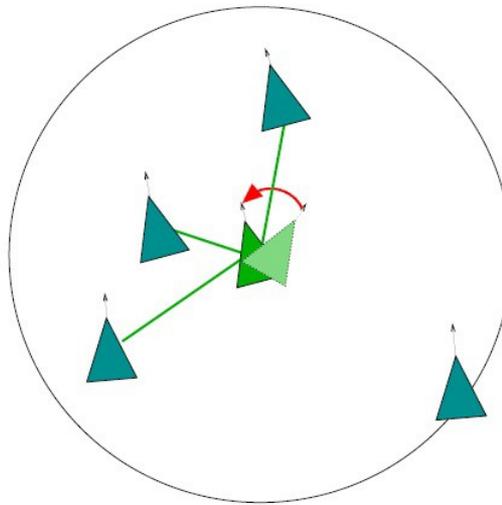
Lesquels pour simuler et pour détecter ?

# Micro - Simulation d'une foule en panique

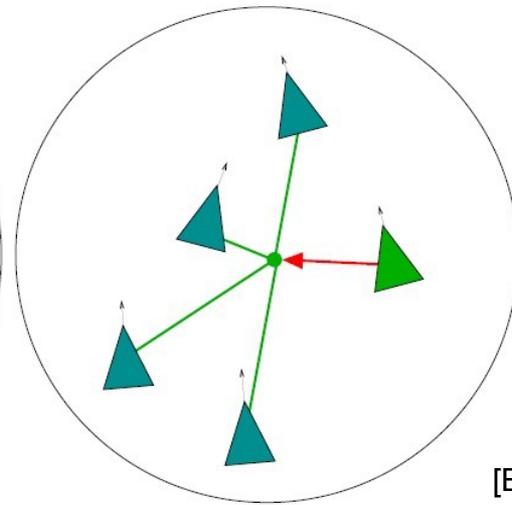
- Notre modèle d'agents en panique fusionne différents domaines de recherche :
  - *Swarm Intelligence* : les systèmes bio-inspirés permettent de contrôler une foule :
    - Les règles de *Flocking* (basées sur les mouvements poissons / oiseaux) [Reynolds, 1987]:
      - les agents préfèrent se déplacer en groupes.
    - La dépose de phéromones (basés sur les fourmis) :
      - les agents reviennent sur leurs pas que si nécessaire.



(a) Règle de séparation



(b) Règle d'alignement

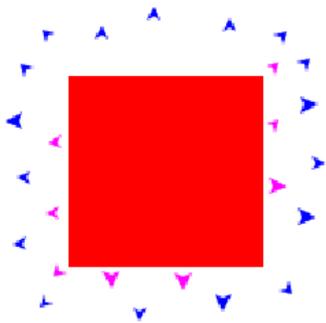


[Boussard, 2008]

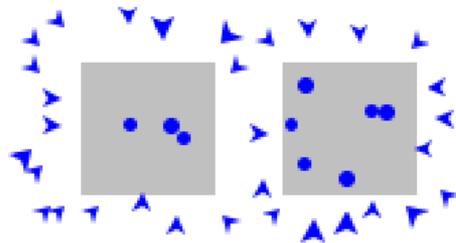
# Micro - Simulation d'une foule en panique

[Patricx et al., 2011] ICSI (*International Conference in Swarm Intelligence*)

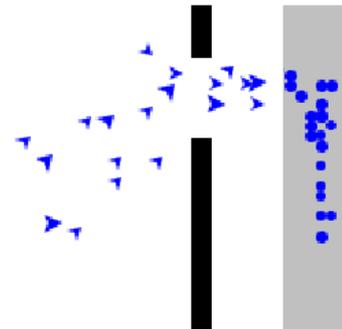
- Notre modèle d'**agents en panique** fusionne différents domaines de recherche :
  - **Système Multi-Agents** : architecture B.D.I.
    - Perception de l'environnement : agents, obstacles, zones sécurisées et dangereuses.
    - Chaque agent décide de ses actions selon ses croyances et ses intentions :



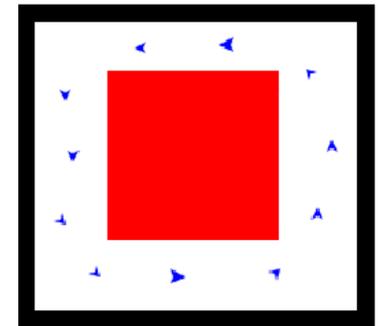
(a) S'éloigner des zones dangereuses.



(b) Se rapprocher des zones sécurisés.



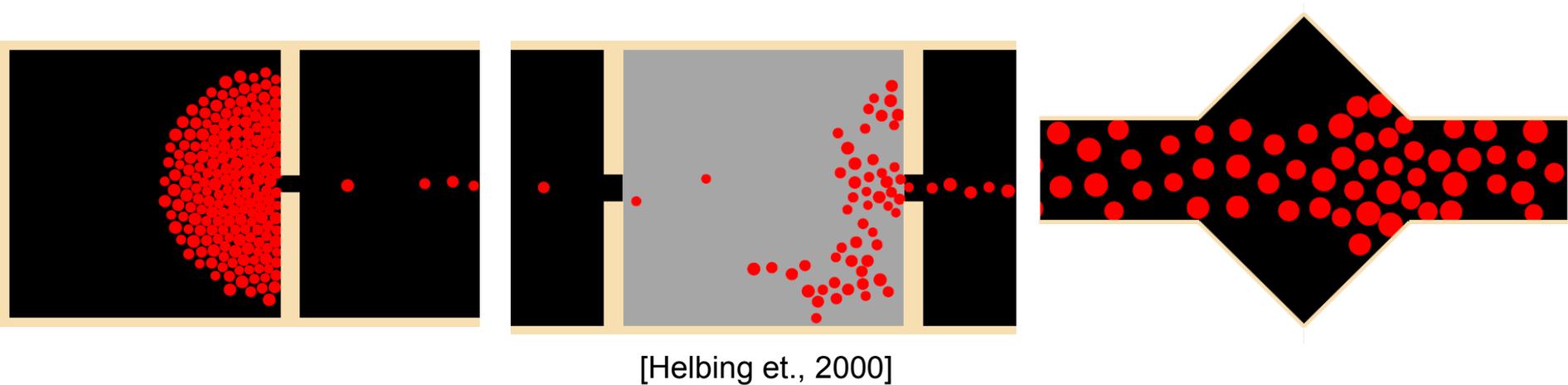
(c) Se déplacer en groupe.



(d) Explorer.

# Micro - Simulation d'une foule en panique

- Notre modèle d'agents en panique fusionne différents domaines de recherche :
  - Modèles Mathématiques :
    - Le modèle d'Helbing prend en compte les forces physiques des interactions de corps.
    - En fonction de la surface disponible par personne qui se réduit, il y a des bousculades, écrasements et piétinements (ce qui entraîne le décès).



# Micro - Simulation d'une foule en panique

[Patricx et al., 2011] ICSI (*International Conference of Swarm Intelligence*)

- Algorithme de décision de la direction désirée de l'agent en panique :

---

**Algorithme 1** : Un agent décide de sa direction.

---

**Data** :  $D \leftarrow \{ \dots \}$  // toutes les directions qui sont libres pour l'agent (incluant celle qui correspond à rester sur place). Les possibilités sont réduites par son environnement proche (les obstacles, les dangers et les autres agents).

$P \leftarrow \{ \dots \}$  // toutes ses perceptions (incluant toutes les positions occupées par les autres agents, les obstacles, les zones de dangers, les zones de sécurités et les phéromones).

```
1 begin
2   valueBest ← -∞ // la plus haute valeur donnée par une direction;
3   directionBest ← la direction actuelle de l'agent;
4   forall d ∈ D do
5     value ← 0;
6     forall p ∈ P do
7       if la distance entre l'agent et p diminuera s'il se dirige selon d then
8         value ← value + ((la récompense associé à p)/distance);
9       else
10        value ← value - ((la récompense associé à p)/distance);
11    if value > valueBest then
12      valueBest ← value;
13      directionBest ← d;
14 end
15 return directionBest // La meilleure direction pour l'agent.
```

---

- Problème à ce niveau pour la détection :

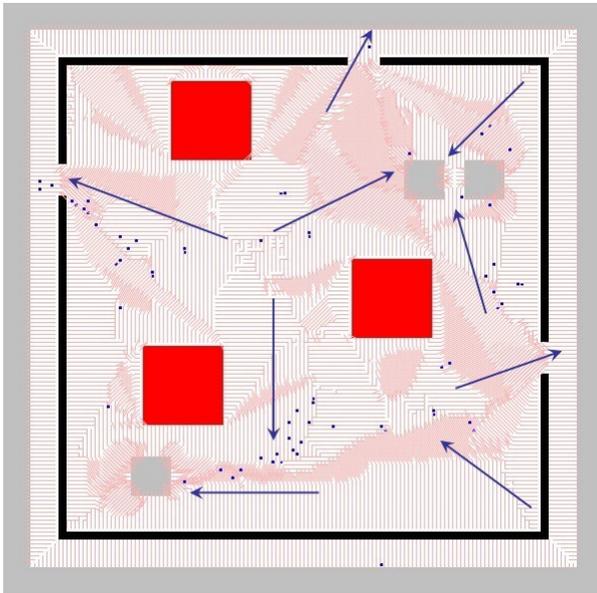
- **Overfitting** (sur-apprentissage).
- La complexité de détection de comportement de chaque individu est **ingérable**.

- Les 3 règles du *Flocking*.
- L'évitement des phéromones.
- Se rendre en zone sécurisée.
- Fuir les zones dangereuses.
  
- Calcul de la direction possible selon la direction désirée par le modèle d'Helbing.
- → Des bousculades en fonction de la surface disponible par individu.

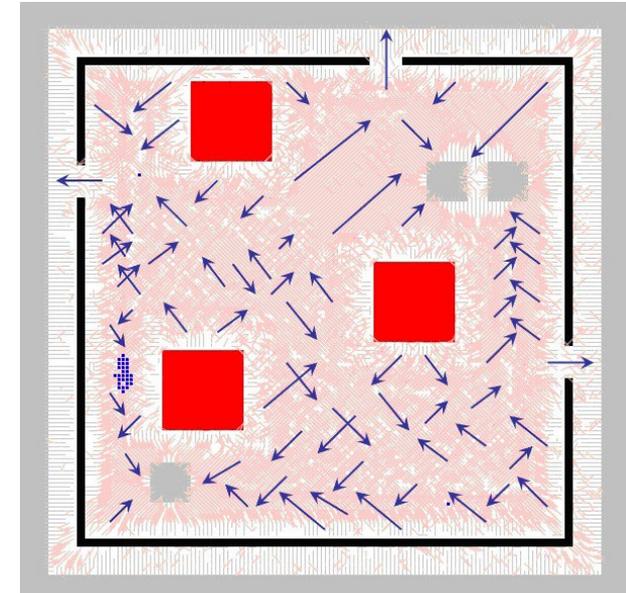
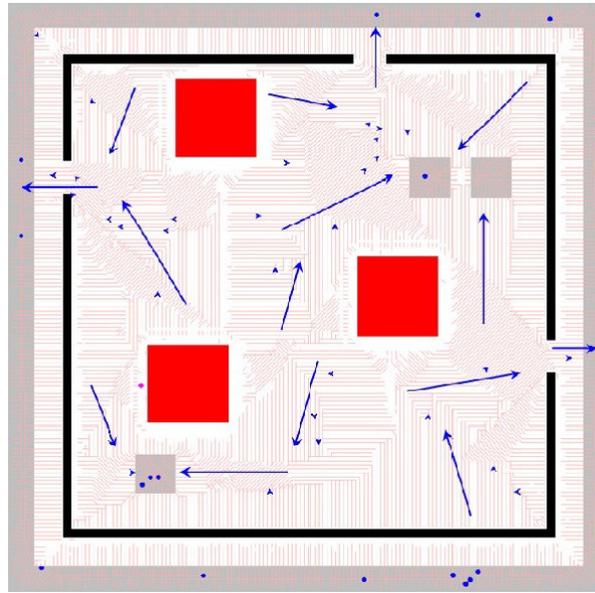
# Macro - Détection des comportements de panique collective

[Patricx & all, 2012] IJSI (*International Journal of Swarm Intelligence*)

- Processus de notre **modèle probabiliste** :
  - 1) **Apprentissage** de chaque chemin emprunté par chaque agent pendant des centaines de simulations.



Perception normale  
(500 itérations observés puis 1000 itérations observées)



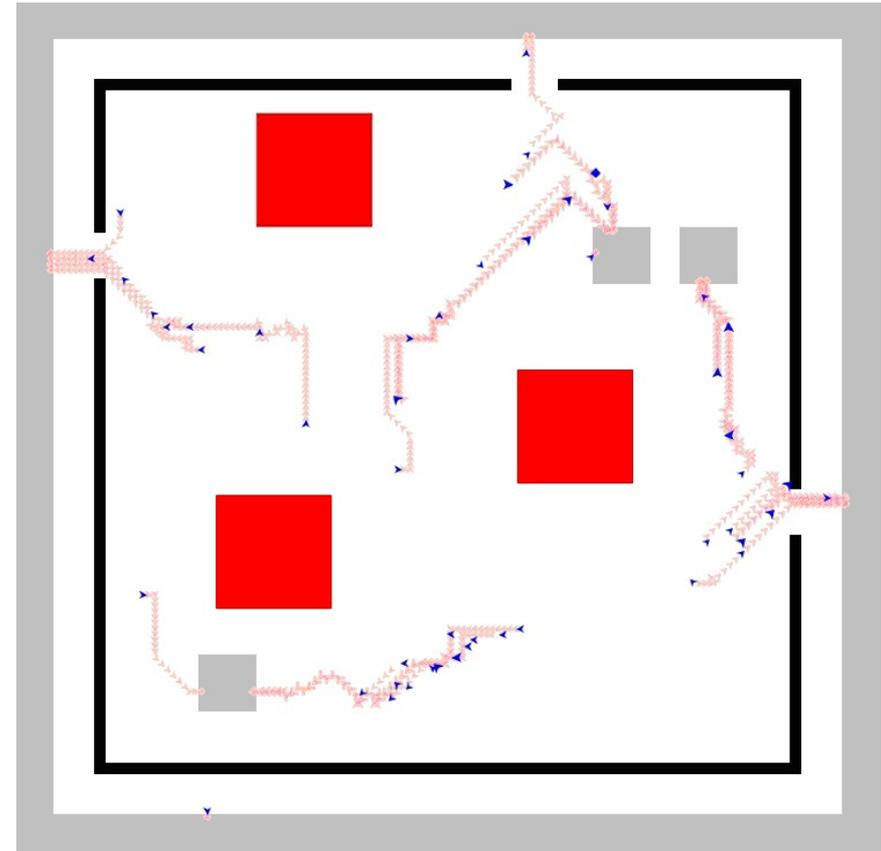
Perception réduite  
(1000 itérations observées)

# Macro - Détection des comportements de panique collective

[Patix & all, 2012] IJSI (*International Journal of Swarm Intelligence*)

- Processus de notre **modèle probabiliste** :
  - 1) **Apprentissage** de chaque chemin emprunté par chaque agent pendant des centaines de simulations.
  - 2) **Anticipation** des mouvements de groupe en temps réel.

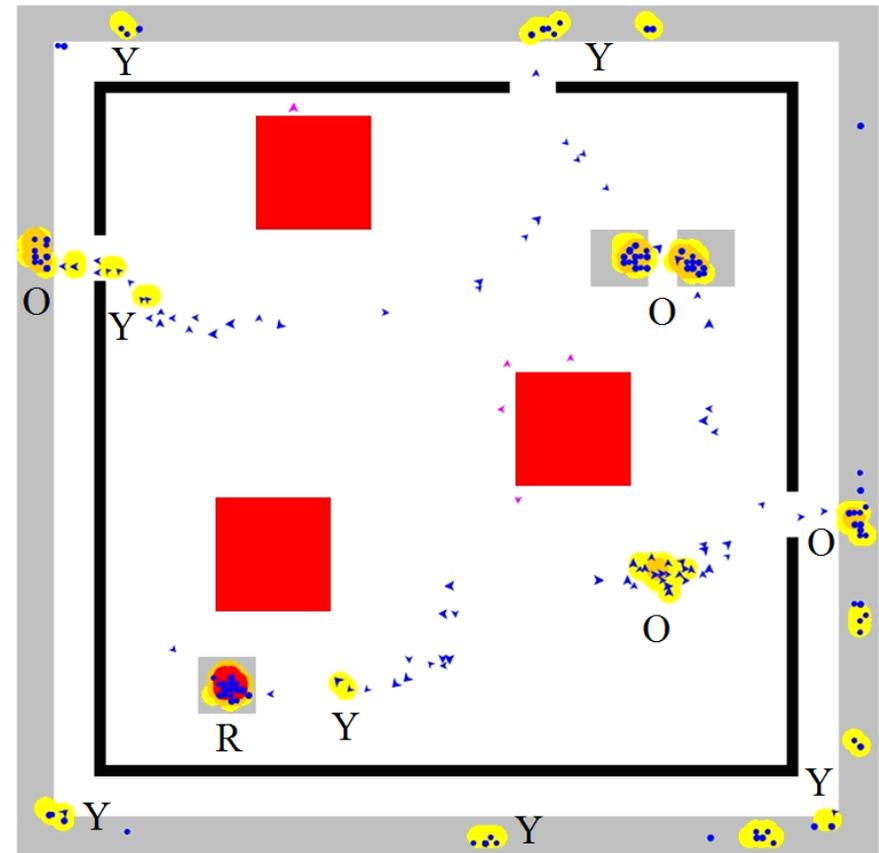
Solution : les forces de sécurité interviendront dans les zones à risque (tel que les sorties encombrées par la foule).



# Macro - Détection des comportements de panique collective

[Patricx & all, 2012] IJSI (*International Journal of Swarm Intelligence*)

- Processus de notre **modèle probabiliste** :
  - 1) **Apprentissage** de chaque chemin emprunté par chaque agent pendant des centaines de simulations.
  - 3) **Identification** des zones à risques (bousculades) lors des mouvements de foule.  
Solution: ajouter des obstacles naturels à ces positions.  
→ les mouvements de foule seront séparés en deux colonnes pour éviter ces obstacles et le risque de bousculades sera fortement réduit.

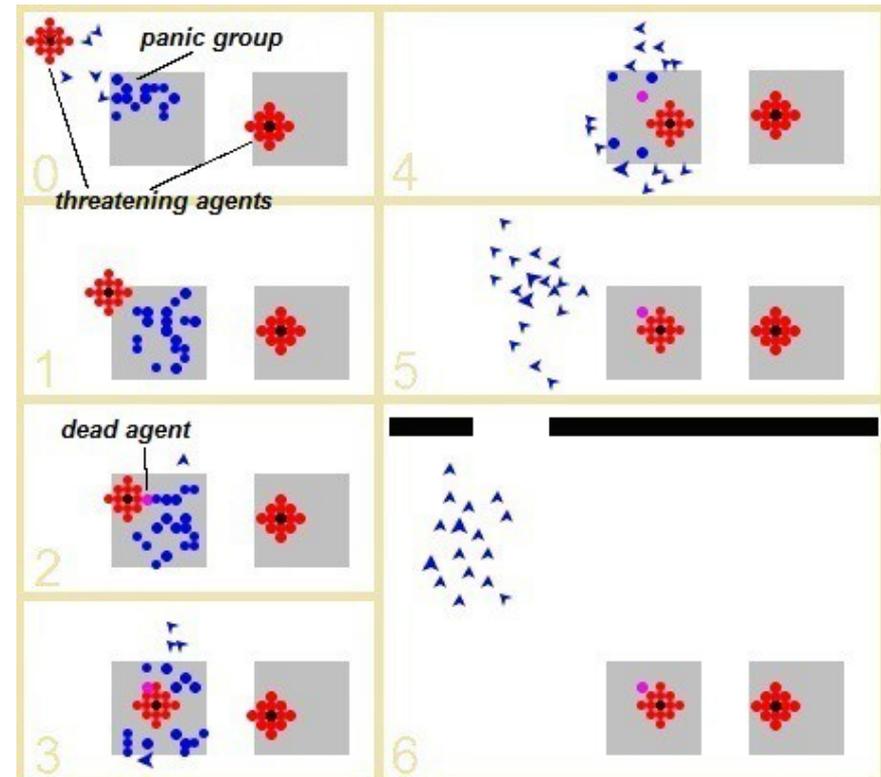


Jaune = frottements.  
Orange = bousculades  
Rouge = piétinements

# Macro - Détection des comportements de panique collective

[Patricx & all, 2012] IJSI (*International Journal of Swarm Intelligence*)

- Processus de notre **modèle probabiliste** :
  - 1) **Apprentissage** de chaque chemin emprunté par chaque agent pendant des centaines de simulations.
  - 4) **Alerte** de comportements anormaux.
  - Une probabilité infinitésimale est obtenue quand les agents ne suivent pas les comportements appris dans le modèle macro.



# Macro - Détection des comportements de panique collective

[Patricx & all, 2012] IJSI (*International Journal of Swarm Intelligence*)

- Processus de notre **modèle probabiliste** :
  - 1) **Apprentissage** de chaque chemin emprunté par chaque agent pendant des centaines de simulations.
  - 2) **Anticipation** des mouvements de groupes en temps réel.
  - 3) **Identification** des zones à risques (bousculades) lors des mouvements de foule.
  - 4) **Alerte** de comportements anormaux.
- Problème à ce niveau :
  - **Overgeneralisation** (généralisation excessive) :  
Les événements individuels anormaux ne sont pas détectés.
  - Quel est l'**objectif** de ces comportements observés ?  
Pas d'approche pour détecter le **pourquoi**.

# Meso – Détection des comportements objectivés de groupe

[Patricx & all, 2013] AAMAS (Autonomous Agent and Multi-Agent System) & Brevet

- *Détection des groupes, de leurs comportements de groupe et de leurs objectifs en utilisant leurs comportements relatifs*
  - P300151: 3 mai 2012 à l'Office Européenne de la Propriété Intellectuelle
- Procédé de **détection** en temps réel des :
  - 1) **Groupes** : par la proxémie (approche *TopDown* ou *BottomUp*) et le comportement relatif des individus
    - évite l'*overfitting* (du niveau micro) et l'*overgeneralization* (du niveau macro).
  - 2) **Comportements objectivés** (envers un objectif)
    - reconnaît l'objectif (« le pourquoi ») des comportements observés.
  - 3) **Intentions** (incluant des **menaces**) → par des règles d'alertes.
- Nous avons créé une nouvelle donnée appelée un **état relatif discrétisé** :
  - Une séquence décrit le comportement relatif d'une entité (groupe) envers une autre entité (objectif)
  - Un objectif peut être toute entité de la situation (agent, groupe, position importante, infrastructure critique,...)

# Calcul d'un état relatif d'un groupe envers un objectif

0 – En entrée : des *états observables* pour chaque agent du groupe  $c$  et un objectif  $g$  de l'instant  $0$  à  $t$ .

1 – Calcul de l'*état fusionné du groupe* (basé sur le centroïde), incluant la *position et la vitesse* du groupe.

2 – Calcul d'un *état relatif*  $\Delta s^{c,g}_t$  sur la différence entre l'état fusionné  $s^c_t$  et l'état de l'objectif  $s^g_t$ . Par exemple, la variable relative  $\Delta r^{c,g}_t \in \Delta s^{c,g}_t$  est donné par :

$$\Delta r_t^{c,g} = \sqrt{|r_{x,t}^c - r_{x,t}^g|^2 + |r_{y,t}^c - r_{y,t}^g|^2}$$

# Calcul d'un état relatif d'un groupe envers un objectif

3 – Nous *discrétisons* les états relatifs sur la différence temporelle de  $t-1$  à  $t$  pour chaque variable :

$dr_n$ (est nulle)	si seulement si	$\Delta r_t^{c,g} < \delta r_{min}$
$dr_d$ (diminue)		$\Delta r_t^{c,g} < \Delta r_{t-1}^{c,g} - \delta r_{min}$
$dr_i$ (augmente)		$\Delta r_t^{c,g} > \Delta r_{t-1}^{c,g} + \delta r_{min}$
$dr_c$ (est constant)		$ \Delta r_t^{c,g} - \Delta r_{t-1}^{c,g}  < \delta r_{min}$

L'ensemble des états relatifs discrétisés représente :

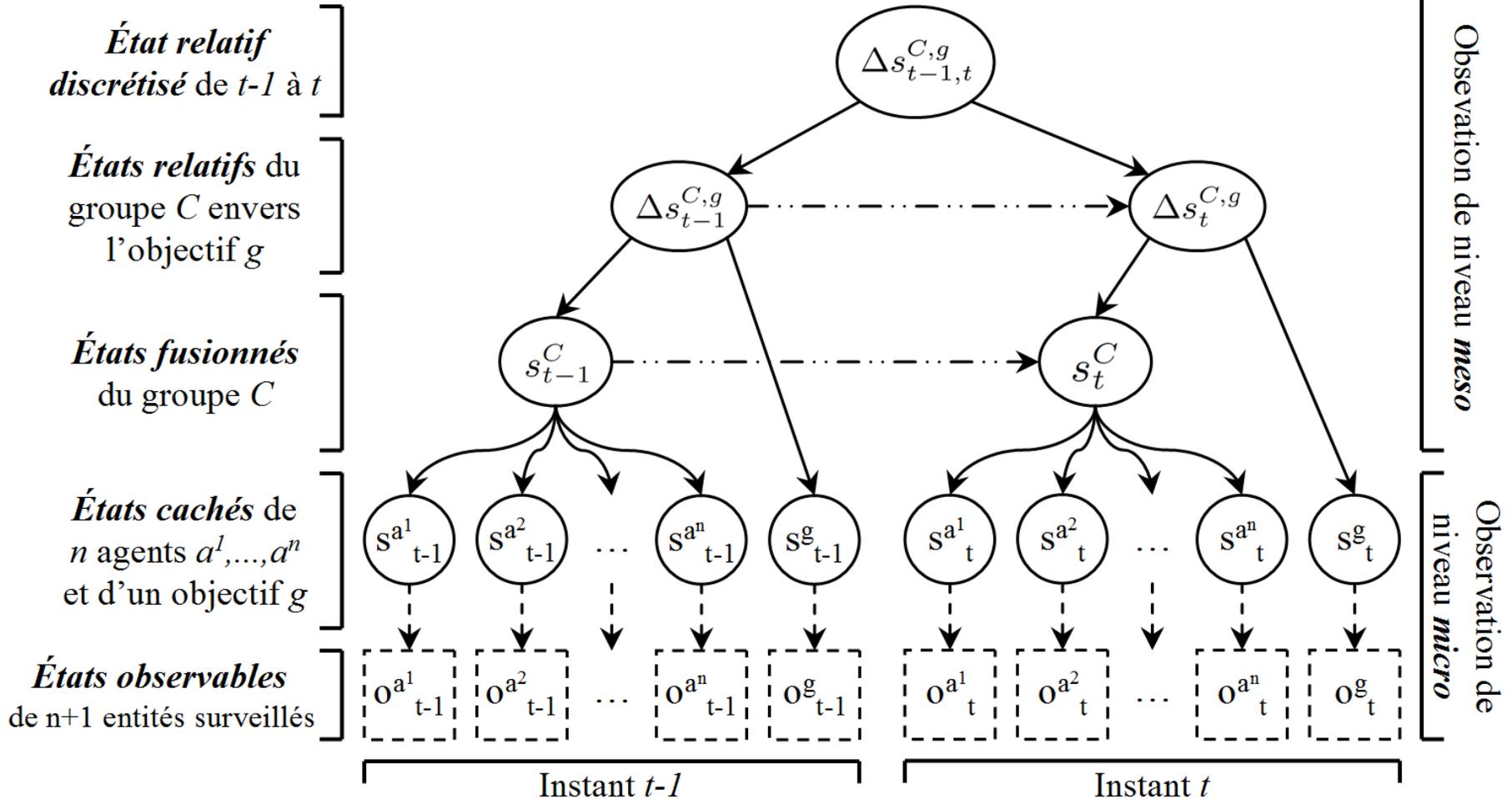
$$Q^{DR} = \left\{ \begin{array}{cccc} \langle p_n, v_n \rangle & \langle p_n, v_d \rangle & \langle p_n, v_i \rangle & \langle p_n, v_c \rangle \\ \langle p_d, v_n \rangle & \langle p_d, v_d \rangle & \langle p_d, v_i \rangle & \langle p_d, v_c \rangle \\ \langle p_i, v_n \rangle & \langle p_i, v_d \rangle & \langle p_i, v_i \rangle & \langle p_i, v_c \rangle \\ \langle p_c, v_n \rangle & \langle p_c, v_d \rangle & \langle p_c, v_i \rangle & \langle p_c, v_c \rangle \end{array} \right\}$$

- ✓ Un espace d'état discrétisé facilite l'apprentissage d'un HMM.
- ✓ Une séquence d'états DR décrit le *comportement objectivé* d'un groupe.

# Calcul d'un état relatif d'un groupe envers un objectif

*Séquence d'états relatifs*  
discrétisés du groupe  $C$   
envers l'objectif  $g$

$$\Delta S_{0,t}^{C,g} = \langle \Delta s_{0,1}^{C,g}, \Delta s_{1,2}^{C,g}, \dots, \Delta s_{t-2,t-1}^{C,g}, \Delta s_{t-1,t}^{C,g} \rangle$$



# Identification des groupes

- Micro → Meso - Approche par la **proxémie** et les séquences d'états relatifs :
  - Pour chaque paire de groupe, nous **fusionnons** ceux ayant les mêmes comportements relatifs
    - Initialement chaque agent est son propre groupe.
    - Sélection en priorité des paires les plus proches par la proxémie.
    - Les états DR les plus récents (de  $t$  à  $t-T$ ) ont le plus d'impacts.
    - Chaque paire sélectionnée peut être testée en parallèle.
    - L'équivalence de deux comportement relatifs peut être établie par apprentissage en fonction de la situation et/ou par des algorithmes de grammaires stochastiques (*Deleted Interpolation*)
  - Avantages : les groupes qui se séparent / croisent ne sont plus scindés / fusionnés temporairement → leurs interactions peuvent être détectées.

# Identification des groupes

- Micro → Meso - Approche par la **proxémie** et les séquences d'états relatifs :
  - Pour chaque paire de groupe, nous **fusionnons** ceux ayant les mêmes comportements relatifs
    - Initialement chaque agent est son propre groupe.
    - Sélection en priorité des paires les plus proches par la proxémie.
    - Les états DR les plus récents (de t à t-T) ont le plus d'impacts.
    - Chaque paire sélectionnée peut être testée en parallèle.
    - L'équivalence de deux comportement relatifs peut être établie par apprentissage en fonction de la situation et/ou par des algorithmes de grammaires stochastiques (*Deleted Interpolation*)
  - Avantages : les groupes qui se séparent / croisent ne sont plus scindés / fusionnés temporairement → leurs interactions peuvent être détectées.
- Macro → Meso - Approche par la **proxémie** et l'**utilité** de groupe
  - Séparation de chaque groupe par le calcul d'une **utilité** basée sur la **synergie**
    - Initialement tous les agents sont dans un seul groupe.
    - Calcul d'une utilité de groupe sur son comportement relatif aux objectifs.
    - Lorsque l'utilité de groupe est plus grande sans un agent, celui-ci est retiré.
    - Quand cette utilité est maximale, le processus recommence avec le nouveau groupe des agents retirés.
  - Avantages : la foule est sectionnée en groupe qui ne sont pas coopératif

# Assignement des comportements objectifs aux groupes

$Pr(\lambda | O_t)$  est la probabilité qu'un comportement  $\lambda$  (un HMM) puisse produire une séquence d'observation  $O_t$  et est calculé par l'algorithme *Forward-Backward*.

La séquence d'états DR  $\Delta S_t^h$  sur une séquence d'observations  $O^{c,g}$  est donnée par :

$$M_t^c(\lambda^h, g^j) = Pr\left(\lambda^h \mid \Delta S_{t-T,t}^{c,g^j} = f^h(O_{t-T,t}^{c,g^j})\right)$$

Pour chaque comportement objectif de groupe  $\lambda^h$  et chaque objectif  $g^j$ , nous calculons la probabilité que le groupe C est en train d'exécuter  $\lambda^h$  envers  $g^j$ :

$$M_t^c = \left\{ \begin{array}{ccccc} M(\lambda^1, g^1) & \cdots & M(\lambda^1, g^j) & \cdots & M(\lambda^1, g^{|G|}) \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ M(\lambda^h, g^1) & \cdots & M(\lambda^h, g^j) & \cdots & M(\lambda^h, g^{|G|}) \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ M(\lambda^{|\Lambda|}, g^1) & \cdots & M(\lambda^{|\Lambda|}, g^j) & \cdots & M(\lambda^{|\Lambda|}, g^{|G|}) \end{array} \right\}$$

Un groupe peut exécuter simultanément différents comportements objectifs envers différents objectifs. Notre *assignement des comportements objectifs de groupe* sélectionne le comportement le plus probable pour chaque objectif du groupe :

$$M(c, g^j, t) = \arg \max_{\forall \lambda^h \in \Lambda} \left\{ M_t^c(\lambda^h, g^j) \right\}$$

# Estimations des intentions

- Par l'évaluation des comportements objectivés sur le long terme
  - Mesure d'une valeur sur les comportements objectivés détectés de  $t-T$  à  $t$

$V^{c,g}$  l'intention du groupe  $c$  selon l'objectif  $g$

$V^{c,G}$  l'intention du groupe  $c$  selon les objectifs de  $G$

$V^{C,g}$  l'intention des groupes de  $C$  selon l'objectif  $g$

- Une distribution est créée en fonction de chaque intention  $\Phi^p$

- Si  $V(\text{groupe} \rightarrow \text{zone sécurisée}) = 1$  et  $V(\text{groupe} \rightarrow \text{zone dangereuse}) = -1$ .

$$V_{t-T,t}^{\phi^p,c^i,g^j} = \sum_{t_c=t-T}^t V^{\phi^p} \left( c^i, g^j, \lambda^h = M(c^i, g^j, t_c) \right)$$

- Alors ce calcul peut révéler les groupes ayant une intention dangereuse envers eux-mêmes.

$$g_{t-T,t}^{\phi^p,c} = \arg \max_{\forall g^j \in G} \left\{ V_{t-T,t}^{\phi^p,c,g^j} \right\}$$

- Alors ce calcul peut révéler l'objectif qui est la cible d'un groupe.

- Pour chaque intention, la distribution et la formule de calcul doivent être créées **manuellement**.

# Estimations des intentions

- Par les états objectivés discrétisés
  - Une séquence de comportements objectivés envers un type d'objectif représente une intention.

Symboles	Les <b>objectifs discrétisés</b> de $G$
$G^+$	- Les objectifs <b>positifs</b> : les forces de sécurité, les zones sécurisées,...
$G^-$	- Les objectifs <b>négatifs</b> : les infrastructures critiques, les zones dangereuses, les positions défensives,...
$G^0$	- Les <b>autres</b> objectifs : toutes les autres types neutres.

	Les <b>comportements objectivés de groupe</b> de $\Lambda$
$\lambda^{c \rightarrow g}$	Le groupe $c$ est en train de se diriger vers $g$
$\lambda^{c \odot g}$	Le groupe $c$ est en train de contourner $g$
$\lambda^{c \leftarrow g}$	Le groupe $c$ est en train de s'éloigner de $g$
$\lambda^{c \leftrightarrow g}$	Le groupe $c$ n'a pas un mouvement relatif différent de celui de $g$
$\lambda^{c \rightsquigarrow g}$	Les autres mouvements (s'ils existent)

- Un ensemble d'états objectivés discrétisés :

$$Q^{DO} = \left\{ \begin{array}{cccccccccc} \rightarrow+ & \rightarrow+ \\ \rightarrow 0 & \rightarrow 0 & \rightarrow 0 & \odot 0 & \odot 0 & \odot 0 & \leftarrow 0 & \leftarrow 0 & \leftarrow 0 & \leftarrow 0 \\ \rightarrow- & \odot- & \leftarrow- & \rightarrow- & \odot- & \leftarrow- & \rightarrow- & \odot- & \leftarrow- & \leftarrow- \\ \\ \odot+ & \odot+ \\ \rightarrow 0 & \rightarrow 0 & \rightarrow 0 & \odot 0 & \odot 0 & \odot 0 & \leftarrow 0 & \leftarrow 0 & \leftarrow 0 & \leftarrow 0 \\ \rightarrow- & \odot- & \leftarrow- & \rightarrow- & \odot- & \leftarrow- & \rightarrow- & \odot- & \leftarrow- & \leftarrow- \\ \\ \leftarrow+ & \leftarrow+ \\ \rightarrow 0 & \rightarrow 0 & \rightarrow 0 & \odot 0 & \odot 0 & \odot 0 & \leftarrow 0 & \leftarrow 0 & \leftarrow 0 & \leftarrow 0 \\ \rightarrow- & \odot- & \leftarrow- & \rightarrow- & \odot- & \leftarrow- & \rightarrow- & \odot- & \leftarrow- & \leftarrow- \\ \\ & & & & & & \rightsquigarrow+ & & & \\ & & & & & & \leftrightarrow 0 & & & \\ & & & & & & \rightsquigarrow- & & & \end{array} \right\}$$

# Estimations des intentions

- Par les états objectivés discrétisés
  - Une séquence de comportements objectivés envers un type d'objectif représente une intention.

Symboles	Les <b>objectifs discrétisés</b> de $G$
$G^+$	- Les objectifs <b>positifs</b> : les forces de sécurité, les zones sécurisées,...
$G^-$	- Les objectifs <b>négatifs</b> : les infrastructures critiques, les zones dangereuses, les positions défensives,...
$G^0$	- Les <b>autres</b> objectifs : toutes les autres types neutres.
Les <b>comportements objectivés de groupe</b> de $\Lambda$	
$\lambda^{c \rightarrow g}$	Le groupe $c$ est en train de se diriger vers $g$
$\lambda^{c \odot g}$	Le groupe $c$ est en train de contourner $g$
$\lambda^{c \leftarrow g}$	Le groupe $c$ est en train de s'éloigner de $g$
$\lambda^{c \leftrightarrow g}$	Le groupe $c$ n'a pas un mouvement relatif différent de celui de $g$
$\lambda^{c \rightsquigarrow g}$	Les autres mouvements (s'ils existent)

- Où l'état objectivé discrétisé  $\begin{matrix} \leftarrow + \\ \odot 0 \\ \rightarrow - \end{matrix}$  (i.e.  $\langle \lambda^{c \leftarrow G^+}, \lambda^{c \odot G^0}, \lambda^{c \rightarrow G^-} \rangle$ )

indique un comportement malveillant puisque le groupe est en train :

- de s'éloigner des objectifs positifs
- de contourner les autres objectifs
- de se diriger vers les objectifs négatifs.

# Estimations des intentions

- Par les états objectivés discrétisés
  - Une séquence de comportements objectivés envers un type d'objectif représente une intention.

Symboles	Les <b>objectifs discrétisés</b> de $G$
$G^+$	- Les objectifs <b>positifs</b> : les forces de sécurité, les zones sécurisées,...
$G^-$	- Les objectifs <b>négatifs</b> : les infrastructures critiques, les zones dangereuses, les positions défensives,...
$G^0$	- Les <b>autres</b> objectifs : toutes les autres types neutres.
Les <b>comportements objectivés de groupe</b> de $\Lambda$	
$\lambda^{c \rightarrow g}$	Le groupe $c$ est en train de se diriger vers $g$
$\lambda^{c \odot g}$	Le groupe $c$ est en train de contourner $g$
$\lambda^{c \leftarrow g}$	Le groupe $c$ est en train de s'éloigner de $g$
$\lambda^{c \not\leftrightarrow g}$	Le groupe $c$ n'a pas un mouvement relatif différent de celui de $g$
$\lambda^{c \rightsquigarrow g}$	Les autres mouvements (s'ils existent)

- Le même processus de l'assignement des comportements objectivés de groupe est appliqué pour obtenir l'assignement des intentions objectivés de groupe

$$\phi^H = \arg \max_{\forall \phi^h \in \Phi} \left\{ Pr \left( \phi^h \mid \Delta S_{t-T,t}^{c,G^+,G^0,G^-} = f^h(\Lambda_{t-T,t}^{c,G}) \right) \right\}$$

où  $\Delta S_{t-T,t}^{c,G^+,G^0,G^-}$  est la séquence d'états d'objectivés discrétisés calculée à partir des comportements objectivés discrétisés du groupe C et des objectifs discrétisés.

- L'état objectivé discrétisé est sélectionné en fonction du fréquent comportement objectivé pour chaque objectif discrétisé  $\{G^+, G^0, G^-\}$

# Estimations des intentions

- Par les états objectivés discrétisés
  - Une séquence de comportements objectivés envers un type d'objectif représente une intention.

Symboles	Les <b>objectifs discrétisés</b> de $G$
$G^+$	- Les objectifs <b>positifs</b> : les forces de sécurité, les zones sécurisées,...
$G^-$	- Les objectifs <b>négatifs</b> : les infrastructures critiques, les zones dangereuses, les positions défensives,...
$G^0$	- Les <b>autres</b> objectifs : toutes les autres types neutres.

	Les <b>comportements objectivés de groupe</b> de $\Lambda$
$\lambda^{c \rightarrow g}$	Le groupe $c$ est en train de se diriger vers $g$
$\lambda^{c \odot g}$	Le groupe $c$ est en train de contourner $g$
$\lambda^{c \leftarrow g}$	Le groupe $c$ est en train de s'éloigner de $g$
$\lambda^{c \leftrightarrow g}$	Le groupe $c$ n'a pas un mouvement relatif différent de celui de $g$
$\lambda^{c \rightsquigarrow g}$	Les autres mouvements (s'ils existent)

- Pour chaque intention, l'apprentissage et la reconnaissance sont **semi-automatiques**.
- Une détection des intentions permet d'atteindre un **haut niveau de l'évaluation de la situation**.

# Synthèse des contributions

[Patricx & all, 2012] IJSI (*International Journal of Swarm Intelligence*)

- Notre modèle d'agents micro pour simuler une panique collective.
- Notre modèle d'agents macro pour apprendre les mouvements collectifs récurrents, les anticiper en temps réel et identifier les comportements anormaux.
- **Limites :**
  - Besoin d'une trop grande quantité de simulations loggés.
  - Les modèles appris sont inapplicables dans un autre environnement.

[Patricx & all, 2013] Brevet & AAMAS (*Autonomous Agent and Multi-Agent System*)

- Notre modèle d'agents meso pour la détection des :
  - groupes dont les membres ont le même comportement relatif.
  - comportements objectivés de groupe.
  - intentions objectivées de groupe.
  - En se basant sur notre création de l'état relatif discrétisé.
- **Avantages :**
  - Indication de la raison qui a provoqué les comportements collectifs détectés.
  - Modèle réutilisable en environnement dynamique.

---

# Sommaire

01

Solutions européennes  
Les projets EUSAS & DEM@CARE

02

État de l'art  
La détection des comportements collectifs

03

Contributions  
Une détection multi-agents sur les niveaux d'observation macro, meso et micro

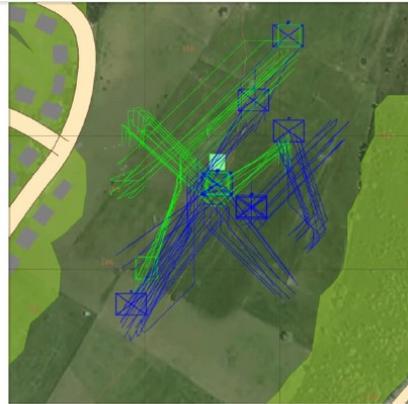
04

Expérimentations  
Une simulation de foule en panique  
Une détection des groupes, de leurs comportements, objectifs et intentions

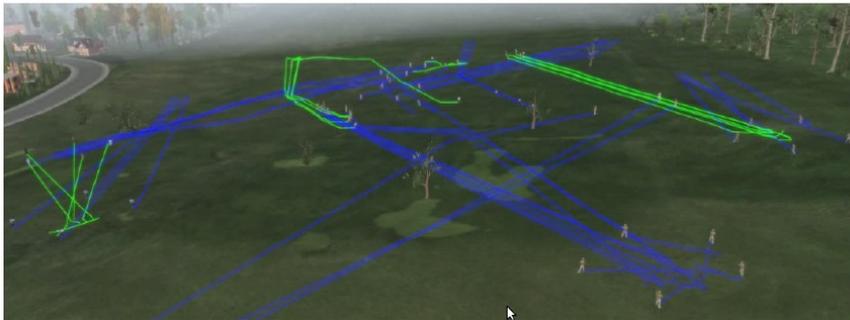
# Meso : Détection des groupes



(a) Vue 2D de VBS2 à  $t=10s$



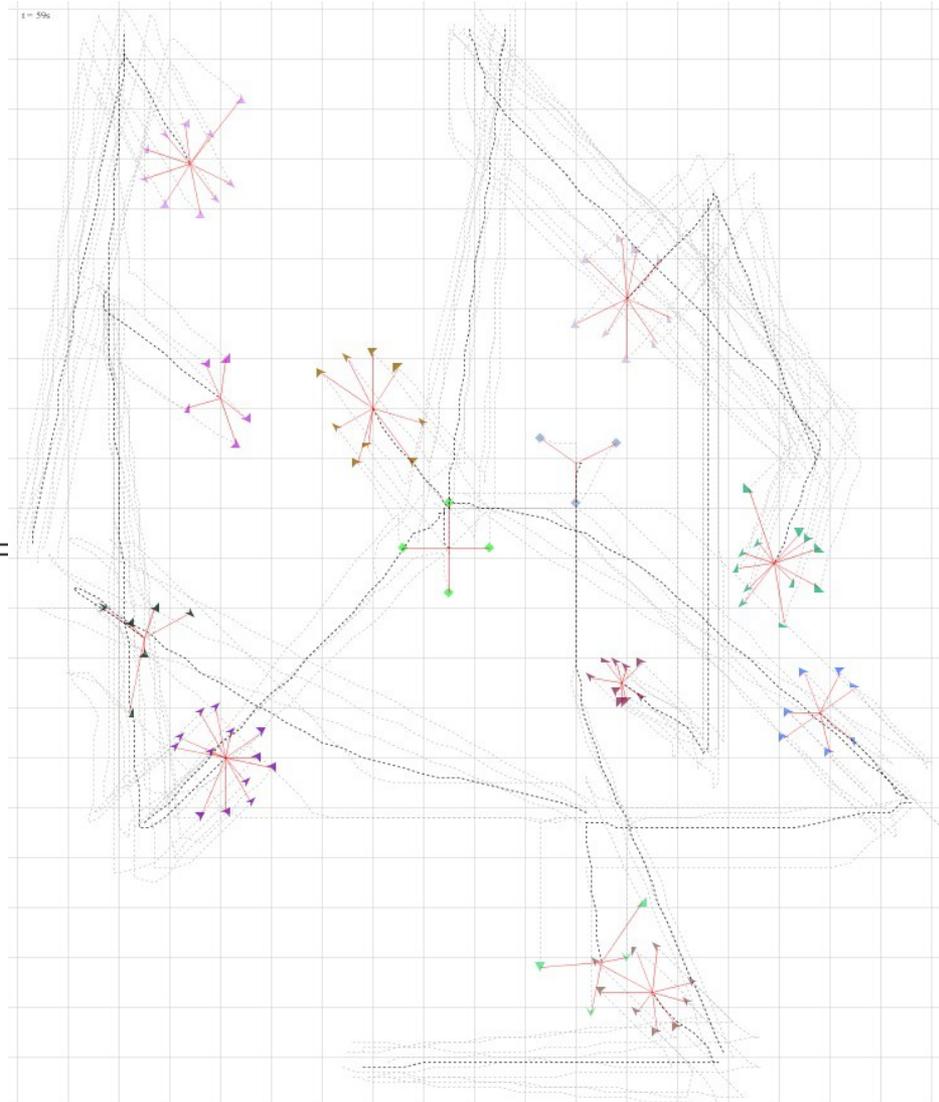
(b) Vue 2D de VBS2 à  $t=50s$



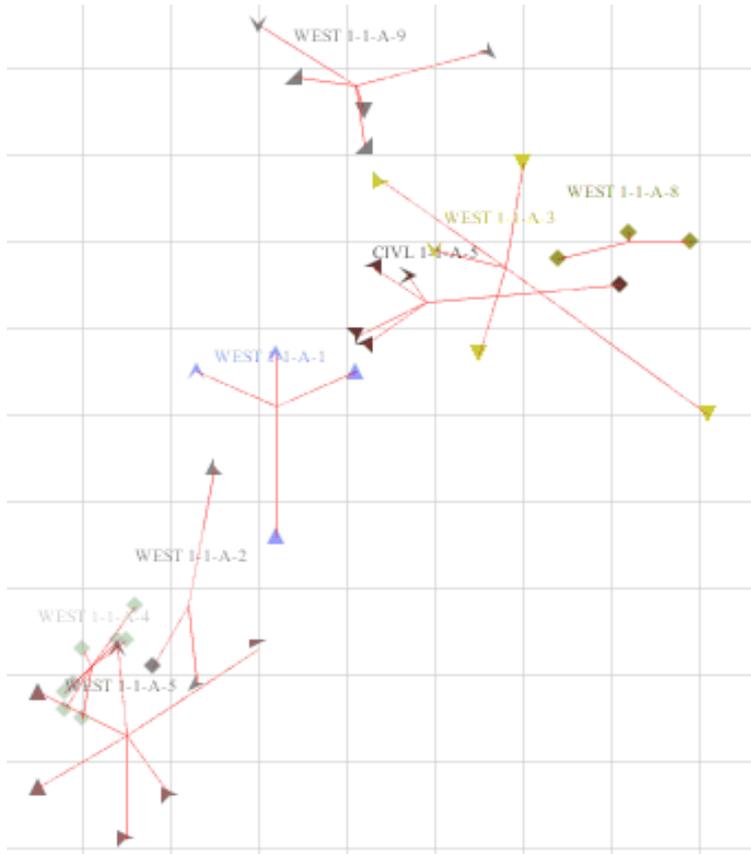
(c) Vue 3D de VBS2 à  $t=10s$



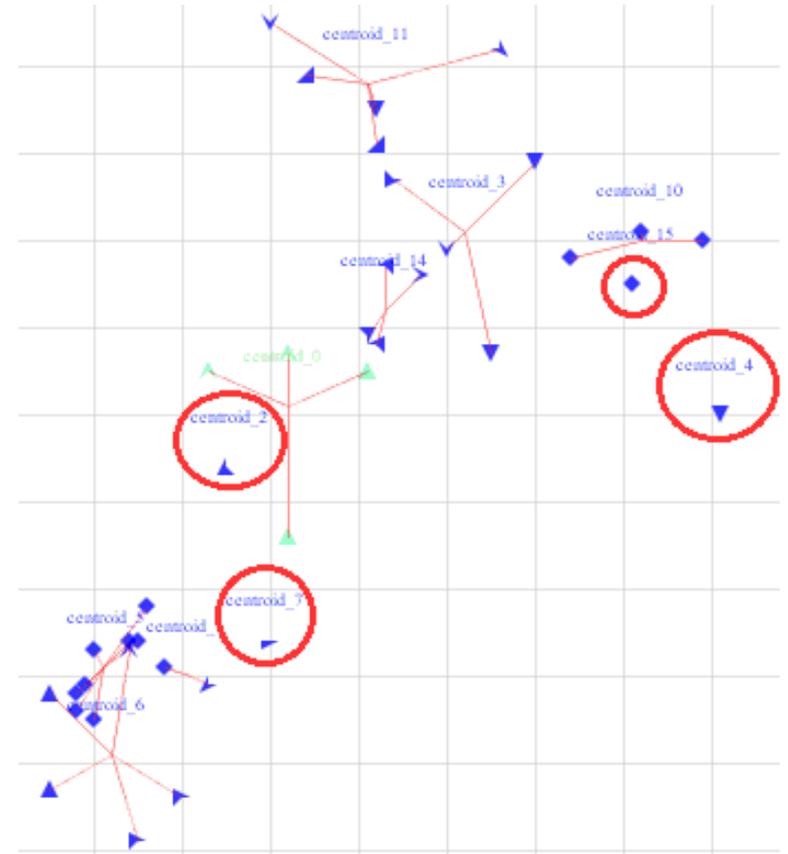
(d) Vue 3D de VBS2 à  $t=50s$



# Meso : Détection des groupes

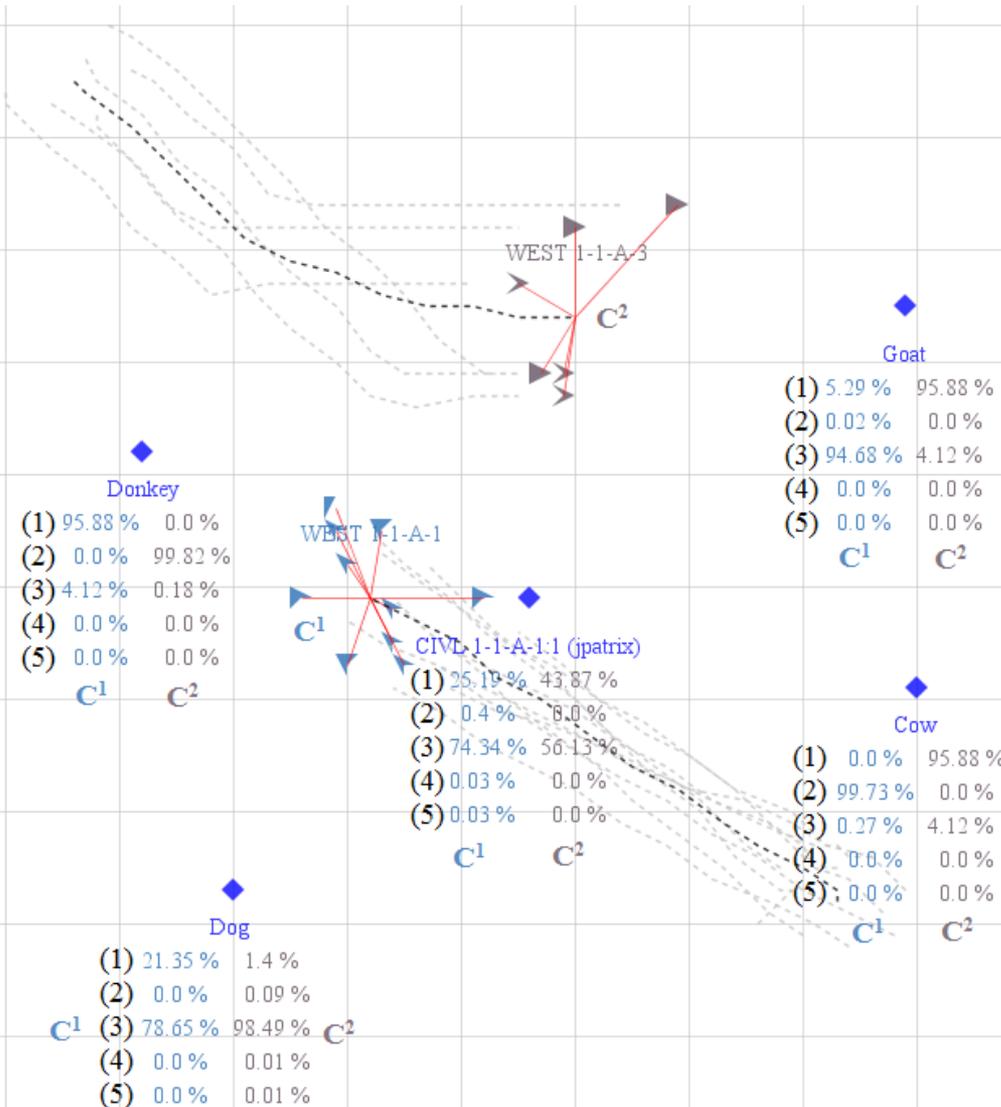


Les groupes donnés par la simulation.



Les groupes détectés par l'approche.

# Meso : Détection de comportement objectif des groupes

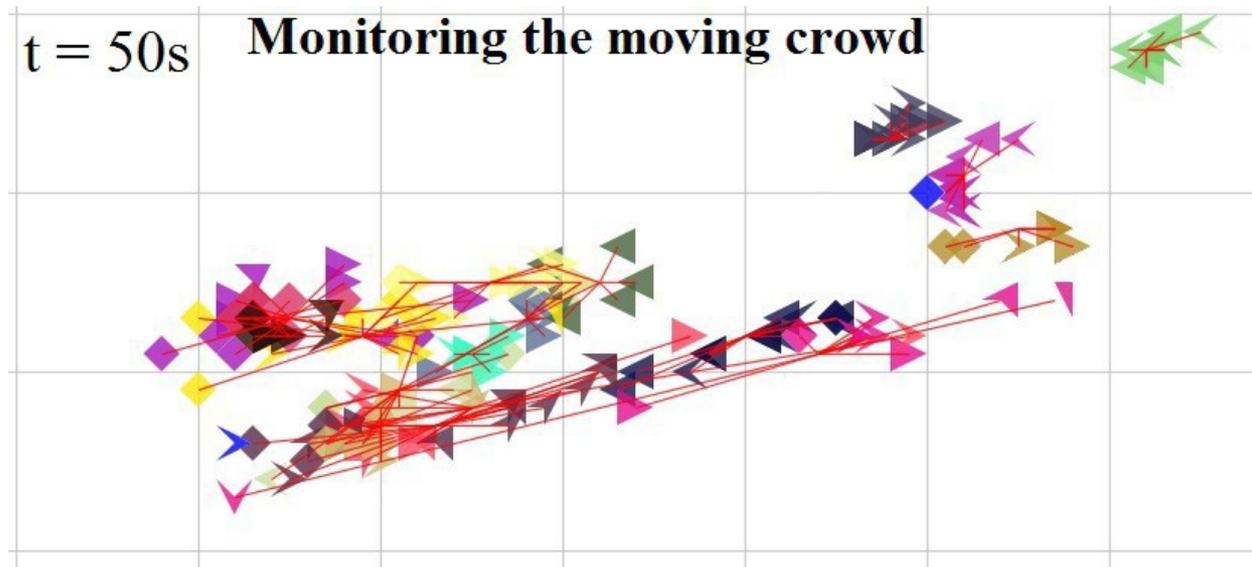


- Pour chaque **groupe** et pour chaque **objectif**, nous calculons la **probabilité** que le groupe est en train d'exécuter un **comportement objectif**.
- Le groupe :
  - (1) se dirige vers l'objectif ;
  - (2) s'éloigne de l'objectif ;
  - (3) évite / contourne l'objectif ;
  - (4) n'exécute pas de mouvement relatif envers l'objectif ;
  - (5) en train d'exécuter un mouvement relatif non reconnu.
- Notre algorithme :
  - **88.46% de précision** sur les scénarios asymétriques simulés.
  - **réduit** l'impact des observations **incertaines** ;
  - **détecte toujours** le plus proche comportement objectif en temps réel **après trois observations**.

# Évaluation de la situation en situation asymétrique



## Meso → Micro : Détection d'intention (incluant une menace)



- Règles CEP sur les comportements objectivés détectés :

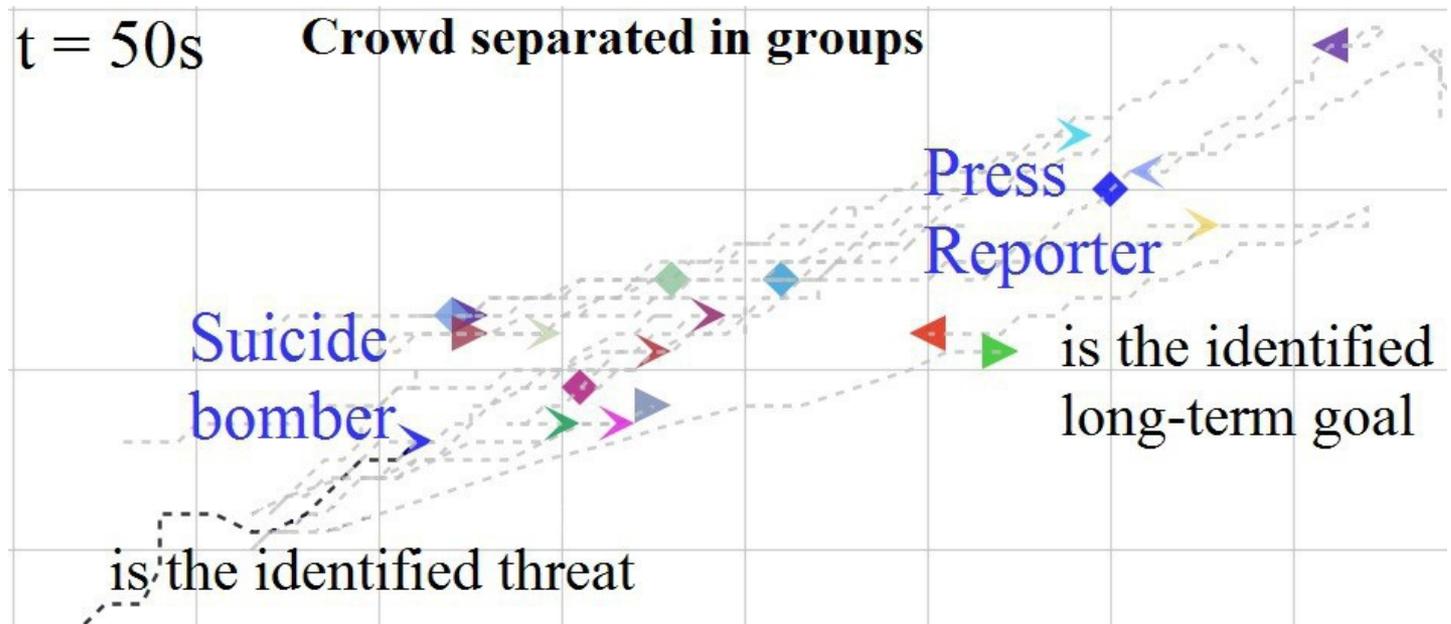
**When** des groupes s'éloignent d'un objectif.

**Then** l'objectif est considéré comme une **menace**.

**When** une entité se dirige vers un objectif et évite les autres.

**Then** l'objectif est sa **cible**.

## Meso → Micro : Détection d'intention (incluant une menace)



- Règles CEP sur les comportements objectivés détectés :

**When** des groupes s'éloignent d'un objectif.

**Then** l'objectif est considéré comme une **menace**.

**When** une entité se dirige vers un objectif et évite les autres.

**Then** l'objectif est sa **cible**.

# Macro > Meso > Micro : Approche multi-agent *TopDown*



- Maintenant, c'est à tester sur des données réelles issues de la chronocalisation.

# Conclusion – Thèse Cifre

- Contributions - Côté ingénieur :
  - Participation à des projets européens avec des budgets de plusieurs millions.
  - Collaboration avec des experts reconnus.
  - Développement sur des outils les plus récents.
- Contributions - Côté chercheur :
  - Innovations : 1 brevet européen et 3 articles publiés.
  - Utilité des CEP pour gérer les quantités de données et HMM pour l'apprentissage et la reconnaissance.
  - Un modèle multi-agents micro / meso / macro pour détecter les comportements collectifs.
  - Tests pour la simulation et la détection de comportements collectifs en environnement asymétrique.
- Perspectives :
  - Test du prototype sur des données réelles (chronolocalisation) des comportements collectifs.
  - Les jeux stochastiques cachés (*Hidden Stochastic Game*) :
    - Une modèle mêlant détection des comportements et planification d'une contre stratégie.
  - Approche contextuelle de la situation :
    - Ontologies sur les relations selon les types d'entités.

---

# Merci de votre attention !

## Des questions?

The reproduction, distribution and utilization of this document as well as the communication of its contents to others without express authorization is prohibited. Offenders will be held liable for the payment of damages. All rights reserved in the event of the grant of a patent, utility model or design.