



University of Namur, Belgium



Tuesday the 18th December 2012

SVTN “J.D. van der Waals”
Eindhoven University of Technology

**Meet, discuss and trust each other:
modeling (small) social networks**

Timoteo Carletti

Department of Mathematics

&

naxys, Namur Center for Complex **Systems**
Namur Center for Complex Systems

University of Namur, Belgium

timoteo.carletti@fundp.ac.be

Acknowledgment

- ★ G. Aldashev : University of Namur 
- ★ F. Bagnoli and D. Fanelli :
University of Florence and “Centro Studi
Dinamiche Complesse” 

- ★ G. Deffuant and S. Huet : Lisc IRSTEA 
- ★ A. Guazzini : Institute for Informatics and Telematics CNR,
Pise 
- ★ S. Righi : RECENS, Hungarian Academy, Budapest
- ★ A. Guarino : University of French Polynesia

(soft) Introduction

He said, "... In many systems, the situation is such that under some conditions **chaotic events take place** That means that, given a particular starting point, it is impossible to predict outcomes. This is true even in some quite simple systems, but the more complex a system, the more likely it is to become chaotic.

It has always been assumed that anything as complicated as **human society** would quickly become **chaotic** and, therefore, **unpredictable**.

What I have done, however, is to show that, in **studying human society**, it **is possible** to choose a starting point and to make appropriate assumptions that will suppress the chaos. That will make it possible to **predict the future**, not in full detail, of course, but in broad sweeps; not with certainty, but with calculable probabilities ..."

(soft) Introduction

"Your Imperial Majesty ... consider the manner in which scientists have dealt with **subatomic particles**. There are enormous numbers of these, each moving or vibrating in random and unpredictable manner, but this chaos turns out to have an underlying order, so that we can work out a quantum mechanics that answers all the questions we know how to ask.

In studying society, we place human beings in the place of subatomic particles, but now there is the added factor of the human mind. Particles move mindlessly; human beings do not. To take into account the various attitudes and impulses of mind adds so much complexity that there lacks time to take care of all of it."

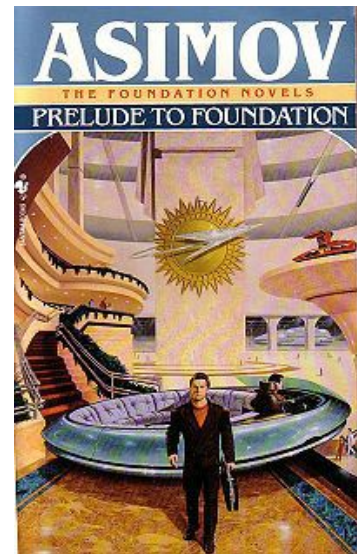
(soft) Introduction

"Your Imperial Majesty ... consider the manner in which scientists have dealt with **subatomic particles**. There are enormous numbers of these, each moving or vibrating in random and unpredictable manner, but this chaos turns out to have an underlying order, so that we can work out a quantum mechanics that answers all the questions we know how to ask.

In studying society, we place human beings in the place of subatomic particles, but now there is the added factor of the human mind. Particles move mindlessly; human beings do not. To take into account the various attitudes and impulses of mind adds so much complexity that there lacks time to take care of all of it."

"I refer to the theoretical assessment of probabilities concerning the future as **psychohistory**. "

Prelude to Foundation by Isaac Asimov, 1988



(more serious) Introduction

S. Galam, « Entropie, désordre et liberté individuelle », Fundamenta Scientiae, 3, (1982), pp. 209.

S. Galam, Y. Gefenand & Y. Shapir, « **Sociophysics**: A mean behavior model for the process of strike », J. Math. Soc., 9, (1982), pp. 1.

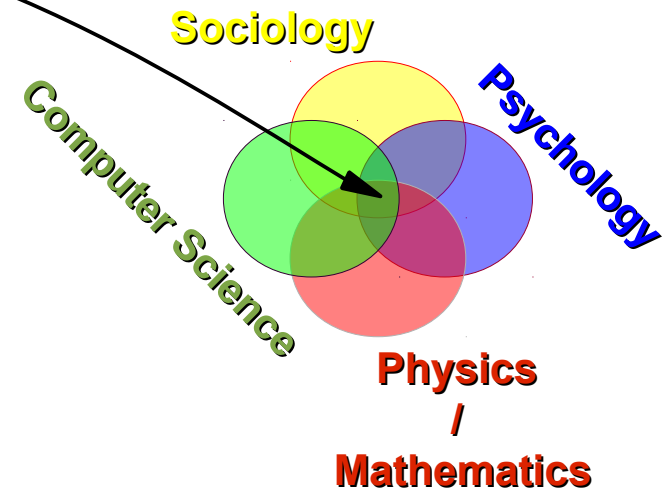
S. Galam & S. Moscovici, « Towards a theory of collective phenomena: Consensus and attitude changes in groups », Eur. J. of Soc. Psyc., 21, (1991), pp. 49.

S. Galam, « Sociophysics: a personal testimony », Physica A, 336, (2004), pp. 49.

What is **SOCIOPHYSICS** ?

It is the use of concepts and techniques from Statistical Physics to describe some social and political behaviors.

It does not aim at an exact description of the reality but rather to enlighten essential features of an otherwise very complex system.



AUJOURD'HUI SCIENCES

Elaboré par un sociophysicien, un modèle décrit comment une opinion qui était au départ minoritaire peut finir par l'emporter

Les mathématiques s'invitent dans le débat européen

« LE "NON" aurait-il conquis l'Europe ? » L'homme qui formule ce pronostic n'est pas un politologue, ne dirige pas un institut de sondage et ne lit pas davantage dans une boule de cristal. Il est chercheur et utilise, pour tout outil de travail, des modèles mathématiques.

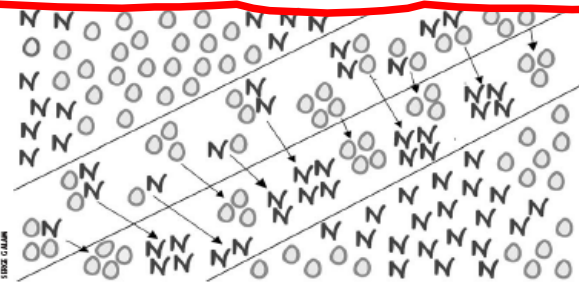
Serge Galam, physicien de formation, spécialiste des théories du désordre, œuvre au rapprochement de sa discipline d'origine et des sciences humaines au sein du Centre de recherche en épistémologie appliquée (Ecole polytechnique-CNRS) de Paris. Ce « sociophysicien » s'intéresse, en particulier, aux mouvements d'opinion (*Le Monde* du 28 mars 2000).

L'un de ses modèles, décrivant « la propagation d'opinions minoritaires en milieu démocratique », s'applique, comme un gant, au référendum sur la Constitution de l'Europe. Il montre comment le « non », aujourd'hui minoritaire dans les sondages, est en mesure, d'un strict point de vue mathématique, de s'imposer finalement.

Le chercheur considère une population devant effectuer un choix simple entre deux possibilités : oui ou non, pour ou contre, A ou B. Il postule que ce choix est précédé par un débat public, sous forme de discussions successives en petits groupes de 2, 3, 4, 5 ou 6 personnes ; des échanges informels entre collègues de bureau ou voisins de palier, comme il est encore permis d'en avoir dans un régime démocratique. Et il pose comme hypothèse qu'à terme de chacune de ces microconfrontations un consensus va se dégager autour de la conviction la plus répandue au sein du petit groupe.

LA PART DU DOUTE

Cette hypothèse présente l'avantage, explique Serge Galam, de rendre son modèle plus robuste, en ce sens qu'il n'accorde aucun avantage a priori à l'opinion minoritaire. Alors que, dans la réalité, la minorité agissante peut déployer une force de persuasion supérieure à celle de la majorité silencieuse, elle n'est créditée dans la simulation numérique d'aucun bonus. Une opinion en vaut une autre. Dans ces conditions, la simple intuition laisse deviner que si, au départ, la population se partageait à égalité parfaite entre les deux camps, ceux-ci auraient beau user leur salive et faire assaut d'arguments, aucun des deux ne



Au terme d'un seul cycle de discussion, 25 « oui » et 12 « non » peuvent se transformer en 20 « non » et 17 « oui ».

l'emportera jamais. Et que, dans le cas le plus fréquent où une opinion prime au départ, celle-ci finit tôt ou tard, compte tenu des règles imposées au modèle, par recueillir tous les suffrages.

Même sur le papier, les choses ne sont bien sûr pas si simples. Serge Galam introduit dans ses équations un paramètre très humain : la part du doute. Celui-ci n'entre pas en jeu quand, au sein d'un groupe de discussion, un avis domine au départ : 2 oui et 1 non donneront ainsi 3 oui.

Le doute intervient lorsque se trouvent face à face un nombre égal de partisans du oui et du non. Ce qui peut se produire lors d'échanges entre 2, 4 ou 6 personnes. Dans ce

cas, suppose le chercheur, le groupe finit également par adopter une position commune (2 oui et 2 non donneront 4 oui ou 4 non), mais en se déterminant en fonction de « représentations sociales, culturelles ou idéologiques » ne relevant pas toujours de la question posée proprement dite.

« En cas de doute, précise Serge Galam, c'est l'opinion la plus proche du statu quo qui l'emporte. » Un phénomène que l'on retrouve dans la prime au sortant des scrutins électoraux ou dans la peur de l'inconnu que doit surmonter tout projet de réforme.

S'agissant du traité constitutionnel européen pourraient, par exem-

ple, faire pencher la balance « la crainte que la perte de la souveraineté nationale » ou celle, pourtant dénuée de fondement, que « sa ratification entraînera l'adhésion de la Turquie à l'Europe ».

EN TACHE D'HUILE

Tout l'intérêt du modèle est de mettre en évidence comment, de proche en proche, ce processus local peut faire tache d'huile, jusqu'à « contaminer » bientôt la totalité de la population. Et de montrer qu'un retournement massif d'opinion peut être la résultante de microchangellements.

Selon cette simulation, en suppo-

sant que, sur 100 Français, 70 sont au départ favorables au « oui » au référendum, ils ne sont plus que 67 après le premier round de discussion, 63 après le deuxième, puis, la machine s'emballant, 56, 45, 30, 12, 2 et, pour finir, 0. Quatre cycles suffisent pour rendre le « oui » minoritaire, et huit pour l'éliminer complètement. Il faudrait que les partisans du « oui » soient 80 pour qu'ils finissent au contraire les 20 défenseurs du « non », au bout de quatorze cycles de discussion.

Un tel scénario, qui réduit à néant une opinion au départ largement majoritaire, n'est évidemment qu'une construction mathématique. Cette construction arithmétique a en effet ses limites. Elle ne tient pas compte, en particulier, de tous les facteurs externes – intentions politiques, campagnes médiatiques, conjoncture économique, tensions internationales... – qui, dans la réalité, peuvent influencer l'opinion publique.

Les responsables politiques militent pour le « oui » au référendum pourraient néanmoins en tirer un enseignement, suggère, en chercheur-citoyen, Serge Galam. Puisque le « non » risque de prospérer sur la défense du statu quo, il leur faut convaincre les Français que ce n'est pas l'adoption de la Constitution européenne, mais au contraire son rejet, qui constituerait un saut dans l'inconnu. Reste à élaborer le modèle mathématique d'une campagne modérée.

Pierre Le Hir

Bataille des écrans plats : le CEA perd le 1^{er} round contre le coréen Samsung

C'EST UNE bataille dont l'enjeu se chiffre en centaines de millions de dollars. Pour le Commissariat à l'énergie atomique (CEA), il s'agit du procès en contrefaçon le plus important qu'il ait été amené à interdire. L'organisme français estime que des fabricants d'écrans plats – dont le n°1 du secteur, le coréen Samsung – ont utilisé une technologie protégée par des brevets.

Le procédé, mis au point dans les années 1980 au LETI, permet de corriger la biréfringence des cristaux liquides et d'élargir l'angle de vision (180°, contre 90°) pour les écrans de portable. Boudée à ses débuts, cette technologie n'a d'abord intéressé qu'un industriel japonais pour des écrans de petite taille. Puis, avec l'arrivée du coréen LG, « on s'est aperçu que notre technologie avait vocation à couvrir un marché de masse », raconte Pierre Darier, chargé de la propriété industrielle au CEA. Mais les industriels que nous avons rencontrés n'étaient pas prêts à acquies-

ser à une licence raisonnable. Nous avons donc été amenés à montrer les dents ».

Des procès ont alors été engagés aux Etats-Unis, au Japon et en France à l'été 2004. Le 10 janvier, le jugement rendu par la 7^e chambre du tribunal correctionnel de Paris a été négatif pour le CEA, qui avait assigné Samsung. « Nous avons perdu pour des problèmes de validité des brevets », commente Pierre Darier, qui prévoit de faire appel du jugement.

UNE DIZAINE DE MILLIONS DE DOLLARS

Au Japon, un procès est en cours contre le même constructeur dont la défense est identique. Les brevets du CEA ne seraient pas valides ; et même s'ils l'étaient, ils ne sont pas contrefaits. Aux Etats-Unis, cinq sociétés – taiwanaises, coréennes et japonaises – sont actuellement assignées par le CEA. La procédure, très codifiée, est balisée jusqu'en octobre 2006. Les frais enga-

gés pour cette action pourraient se monter à une dizaine de millions de dollars pour le CEA. L'enjeu est donc majeur pour l'établissement public, dont la précédente expérience en matière de propriété intellectuelle avait connu « une issue mitigée ». En 2002-2003, le Commissariat avait attaqué, aux Etats-Unis, le géant du silicium Soitec, qu'il accusait d'avoir violé un de ses brevets protégeant une technique de fabrication de substrats pour semi-conducteurs. A l'issue du procès, « chacun avait pu déclarer qu'il avait gagné », se souvient Pierre Darier.

En ce qui concerne les écrans plats, le CEA espère une issue plus favorable. Le jugement en sa défaveur à Paris est compensé par un accord passé avec Sanyo, qui a récemment accepté de signer une « transaction » pour un montant qui n'a pas été rendu public.

Hervé Morin

Une protéine adapte les plantes à la lumière

UNE PROTÉINE permet aux plantes de s'adapter aux changements de lumière et de toujours faire fonctionner correctement leur système vital de photosynthèse, révèlent des biologistes suisses et français dans la revue *Nature* de jeudi 24 février. On savait depuis longtemps que les plantes utilisent l'énergie solaire pour la formation de sucres, via l'appareil de photosynthèse, mais on ignorait comment elles parviennent à adapter cet appareil aux changements fréquents de leur environnement, notamment aux variations d'énergie lumineuse. L'équipe de l'université de Genève (Suisse), dirigée par Jean-David Rocher et Gilles Peltier, du laboratoire d'écophysiologie de la photosynthèse de Cadarache (CEA-CNRS), est parvenue à identifier la molécule-clé de ce phénomène, une protéine kinase (enzyme qui a pour propriété d'activer une autre enzyme).

DÉPÊCHES

■ **ESPACE** : la mission lunaire européenne Smart-1 durera un an de plus que prévu. Alors que cette mission devait se terminer en août 2005, les responsables de l'Agence spatiale européenne ont décidé de la poursuivre jusqu'en août 2006. Ce qui devrait permettre à la sonde européenne de photographier l'équateur lunaire et une partie de l'hémisphère Nord.

■ **DÉS QUANTITÉS ABONDANTES DE PETITS HYDROCARBURES ONT ÉTÉ DÉCOUVERTES** par des chercheurs français et espagnols dans la nébuleuse de la Tête de cheval, à 1 400 années-lumière de la Terre, ont annoncé, mercredi 23 février, le CNRS et la revue européenne *Astronomy and Astrophysics*. Ces hydrocarbures, détectés grâce à l'interféromètre de l'Institut de radioastronomie millimétrique (IRAM), pourraient s'expliquer par la fragmentation de molécules géantes, des hydrocarbures aromatiques polycycliques.

■ **PALÉONTOLOGIE** : deux chercheurs ont identifié, en Argentine, une nouvelle espèce de petit dinosaure carnivore, de la famille des reptiles coureurs, dont le représentant le plus connu est le vélociprator, rendu célèbre par le film *Jurassic Park*. Selon leur étude, publiée jeudi 24 mars dans *Nature*, cette découverte démontre que les dinosaures de ce type ont été plus répandus et ont vécu plus longtemps qu'on ne le pensait jusque-là.

A step in the past

A. Quetelet (1835), *Sur l'homme et le développement de ses facultés, ou Essai de physique sociale*.

II. Les actions de l'homme sont-elles soumises à des lois?.....

Point de vue sous lequel il convient d'envisager l'homme. —

Comment il faut étudier les lois qui le concernent. — Les lois qui règlent nos actions se manifestent de la manière la plus évidente. — Elles dépendent en grande partie de notre état social et se modifient avec lui. — La vanité de l'homme répugne à admettre des lois qui influencent ses actions. —

Les phénomènes moraux peuvent être soumis aux mêmes principes d'observation que les phénomènes physiques. —

Nécessité des phénomènes moraux. — Dans cette nécessité réside la possibilité d'améliorer l'état social.

V. De l'objet de cet ouvrage.....

Objet de l'ouvrage. — De l'homme moyen. — Comment on peut concevoir une *physique sociale*. — Quels sont les éléments dont elle doit s'occuper. — Principaux problèmes à résoudre.

Les actions de l'homme sont-elles soumises à des lois?

Il serait impossible de résoudre une pareille question *à priori*; si nous voulons procéder d'une manière sûre, c'est dans l'expérience qu'il faut en chercher la solution.

Nous devons, avant tout, perdre de vue l'homme pris isolément, et ne le considérer que comme une fraction de l'espèce. En le dépouillant de son individualité, nous élimi-

nerons tout ce qui n'est qu'accidentel; et les particularités individuelles qui n'ont que peu ou point d'action sur la masse s'effaceront d'elles-mêmes, et permettront de saisir les résultats généraux.

Networks (more this afternoon in the sociophysics workshop)

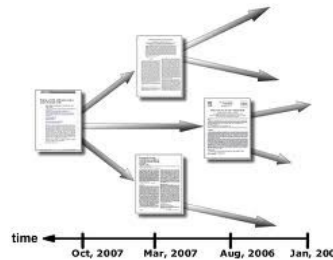
- ▶ A graph is a representation of a set of objects, nodes, where some pairs of the objects are connected by links because of the existence of some relationship
- ▶ A (complex) network is a graph with non-trivial features

Networks (more this afternoon in the sociophysics workshop)

- ▶ A graph is a representation of a set of objects, nodes, where some pairs of the objects are connected by links because of the existence of some relationship
- ▶ A (complex) network is a graph with non-trivial features



nodes = persons
links = friendship



nodes = scientists
links = co-authorship



nodes = persons
links = mails exchanges



nodes = banks
links = money fluxes



nodes = web pages
links = hyperlinks

Networks (more this afternoon in the sociophysics workshop)

- ▶ A graph is a representation of a set of objects, nodes, where some pairs of the objects are connected by links because of the existence of some relationship
- ▶ A (complex) network is a graph with non-trivial features



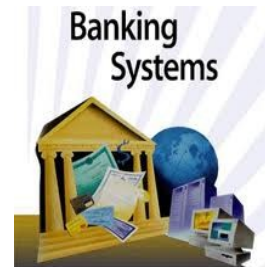
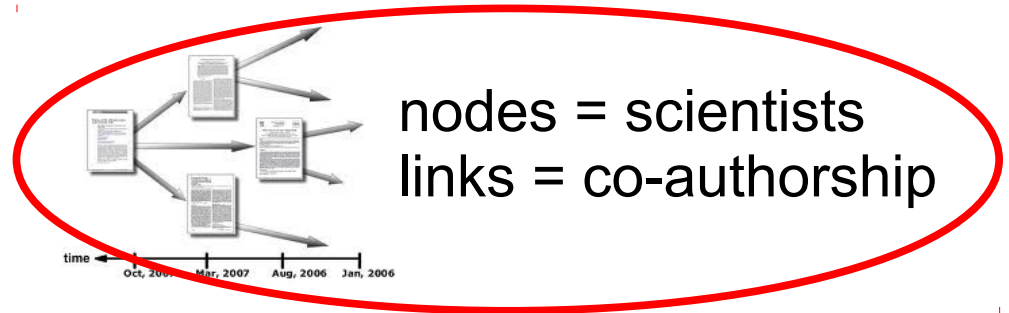
nodes = persons
links = friendship



nodes = persons
links = mails exchanges



nodes = web pages
links = hyperlinks



nodes = banks
links = money fluxes

Co-authorship networks

Nodes are authors connected together if they have (at least) one common publication



Source : <http://academic.research.microsoft.com/VisualExplorer>

Some stylized facts about social networks



P. Erdős is the “father” of the “new” network theory, that's why people start to compute their distance from him

<http://www.ams.org/mathscinet/collaborationDistance.html>

My Erdős number is 4



Source : <http://academic.research.microsoft.com/VisualExplorer>

Some stylized facts about social networks



P. Erdős is the “father” of the “new” network theory, that's why people start to compute their distance from him

<http://www.ams.org/mathscinet/collaborationDistance.html>

However Erdős doesn't have anything special ...

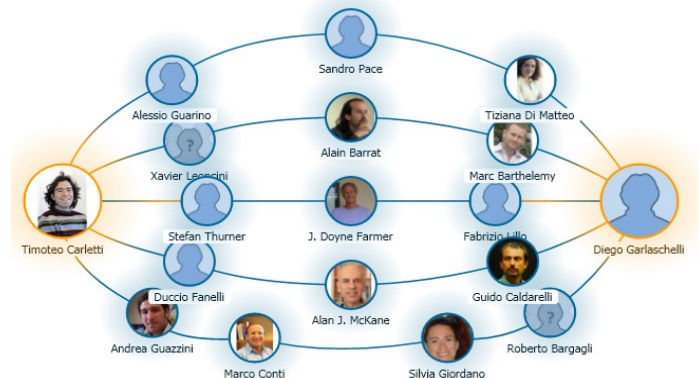
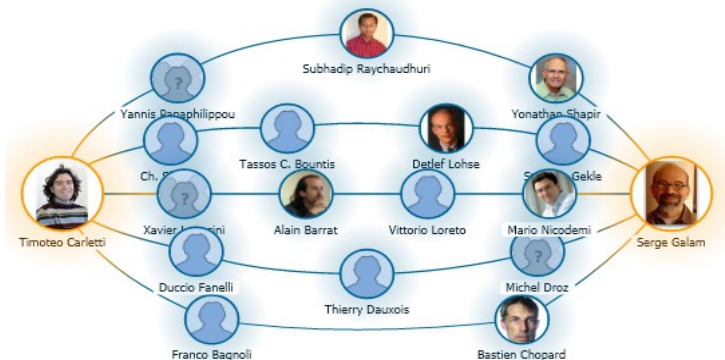
The distance from me :

to S. Galam is 4,

to D. Garlaschelli is 4

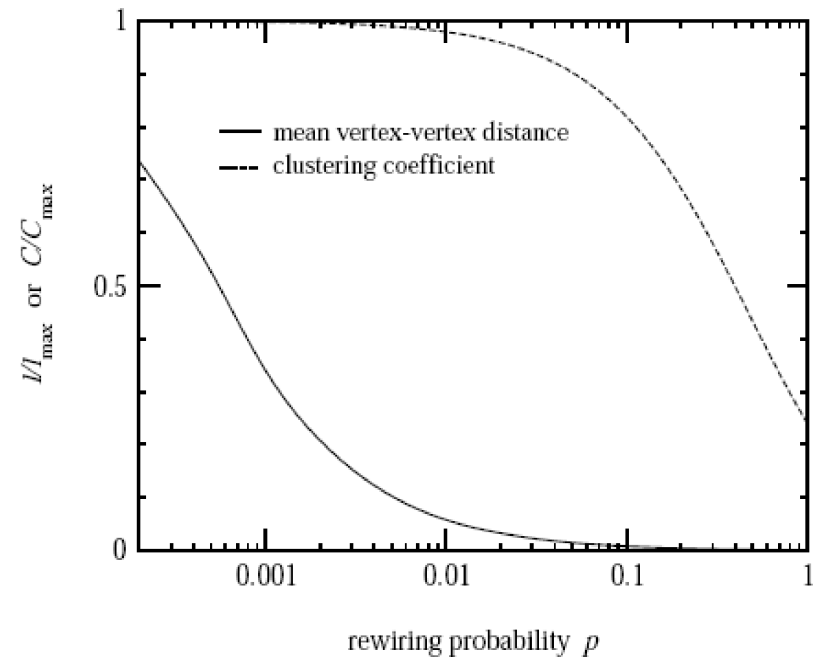
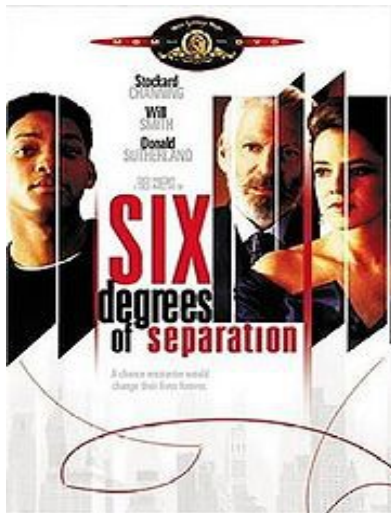
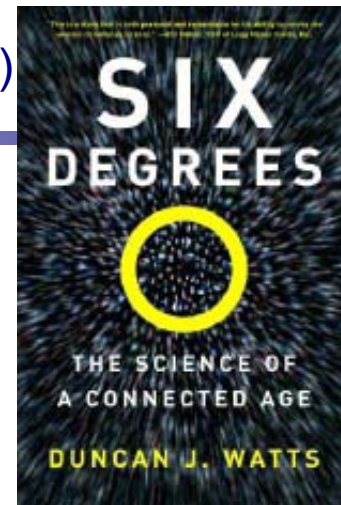
to C. Diks is 4

to F. Witte or A. Scharnhorst is infinity



Small world (more this afternoon in the sociophysics workshop)

- ▶ A network has the small world property if most nodes are not neighbors of one another, but most nodes can be reached from every other by a small number of steps

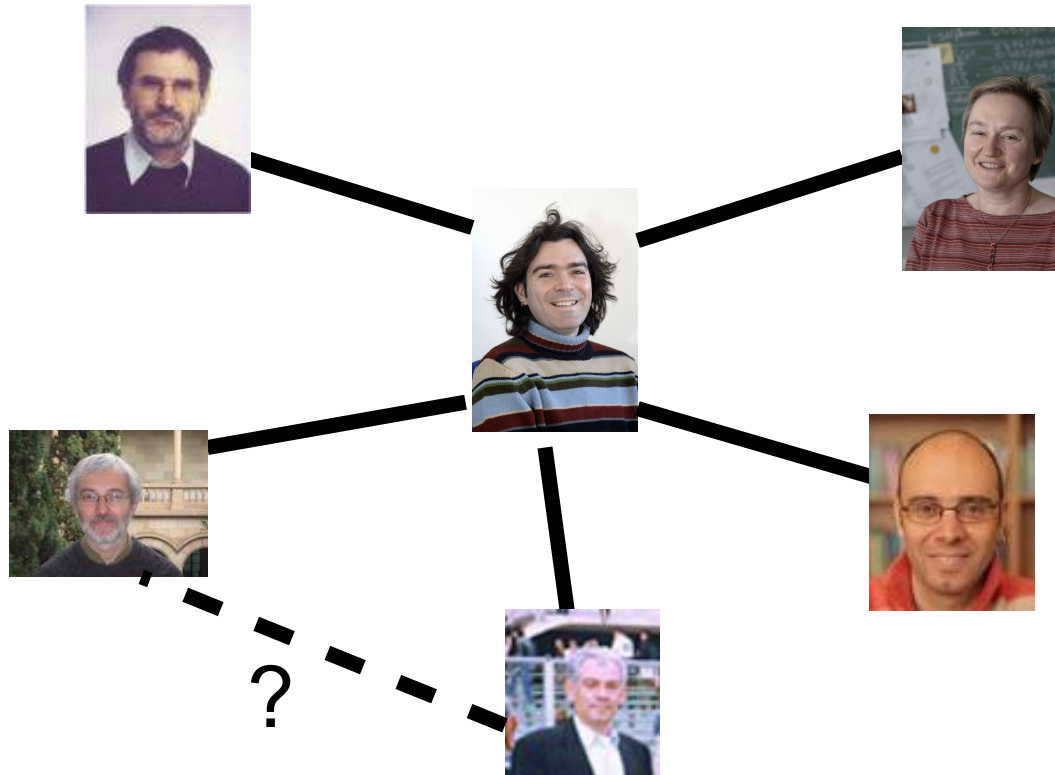


Milgram 1967 experiment,
Kavin Bacon Number, Erdős number ...

Watts, D. J. & Strogatz, S. H.
(1998), Nature 393 (6684), 440–442

Clustering, ...

- ▶ How many co-authors of mine, are also relatively co-authors ?



$$C_i = \frac{\text{existing triangles}}{N(N-1)/2}$$

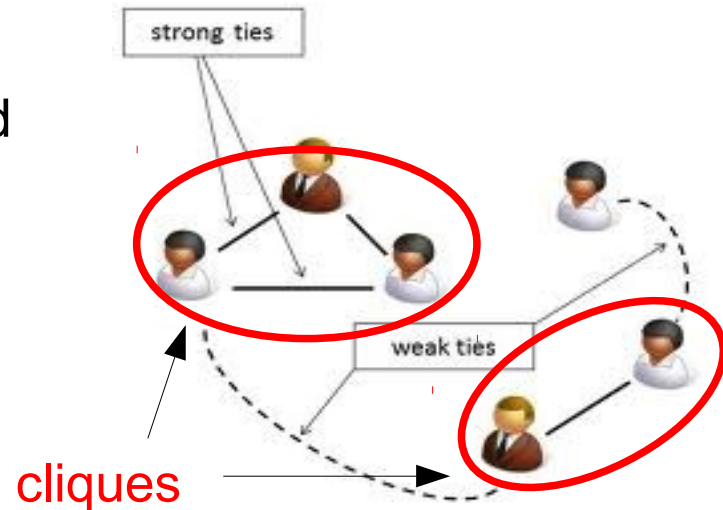
Normalizing factor :
N co-authors can form
at most $N(N-1)/2$
triangles

- ▶ Social network have large clustering coefficient,
my friends are often friends with each other

Clustering, Cliquishness and weak ties

M.S. Granovetter : *The strength of weak ties*, Am. Jour. of Sociology, **78**, 6, 1973

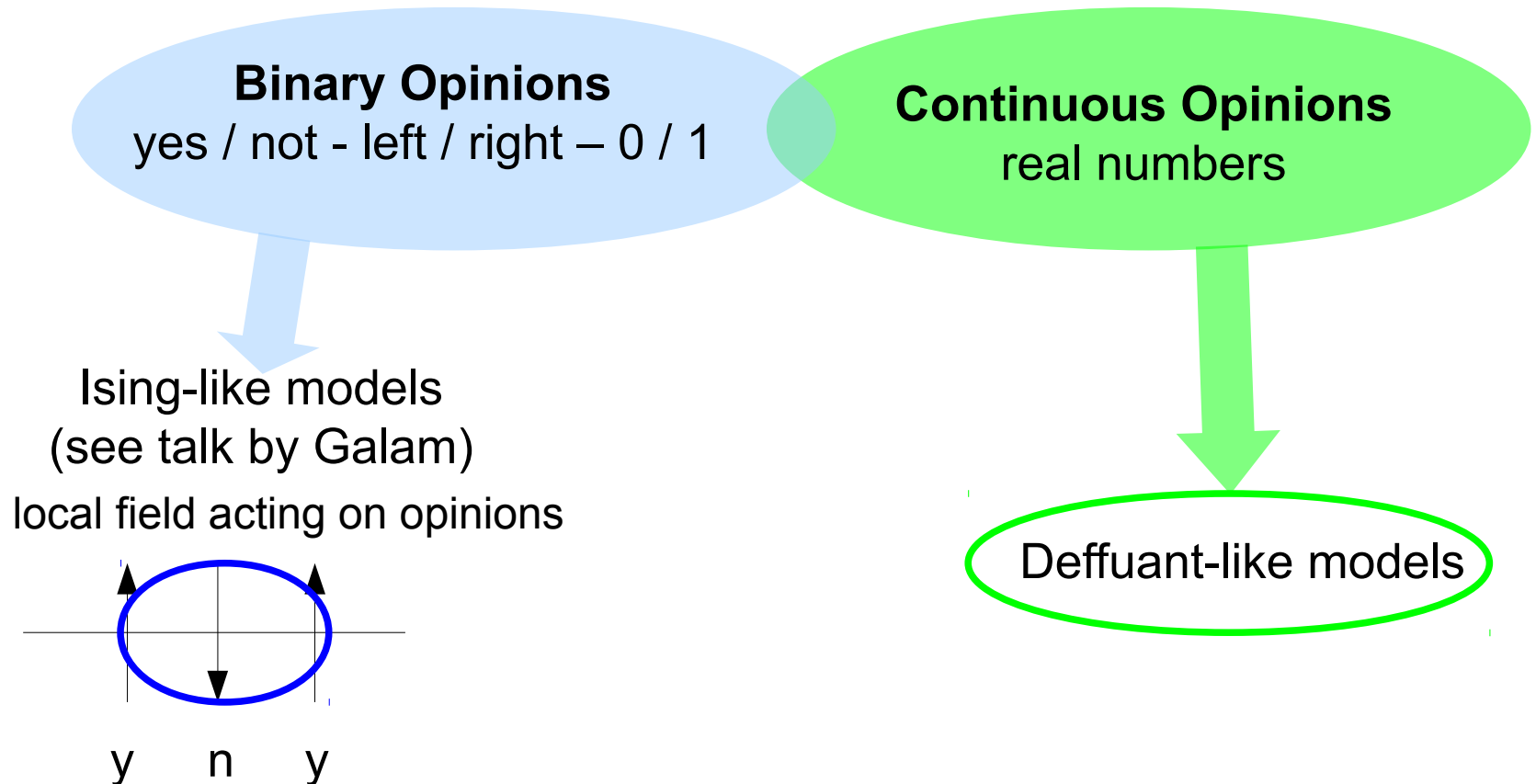
Cliques = a complete subgraph
i.e. every nodes is connected
to every other node



- Social network have many small cliques (well connected group of friends) connected together through weak links

Opinion Dynamics & Agent Based Models

Study the opinion evolution in a social group made of **interacting** constituents (**agents**) and infer the emergence of collective behaviors (consensus / polarization) starting from local rules.

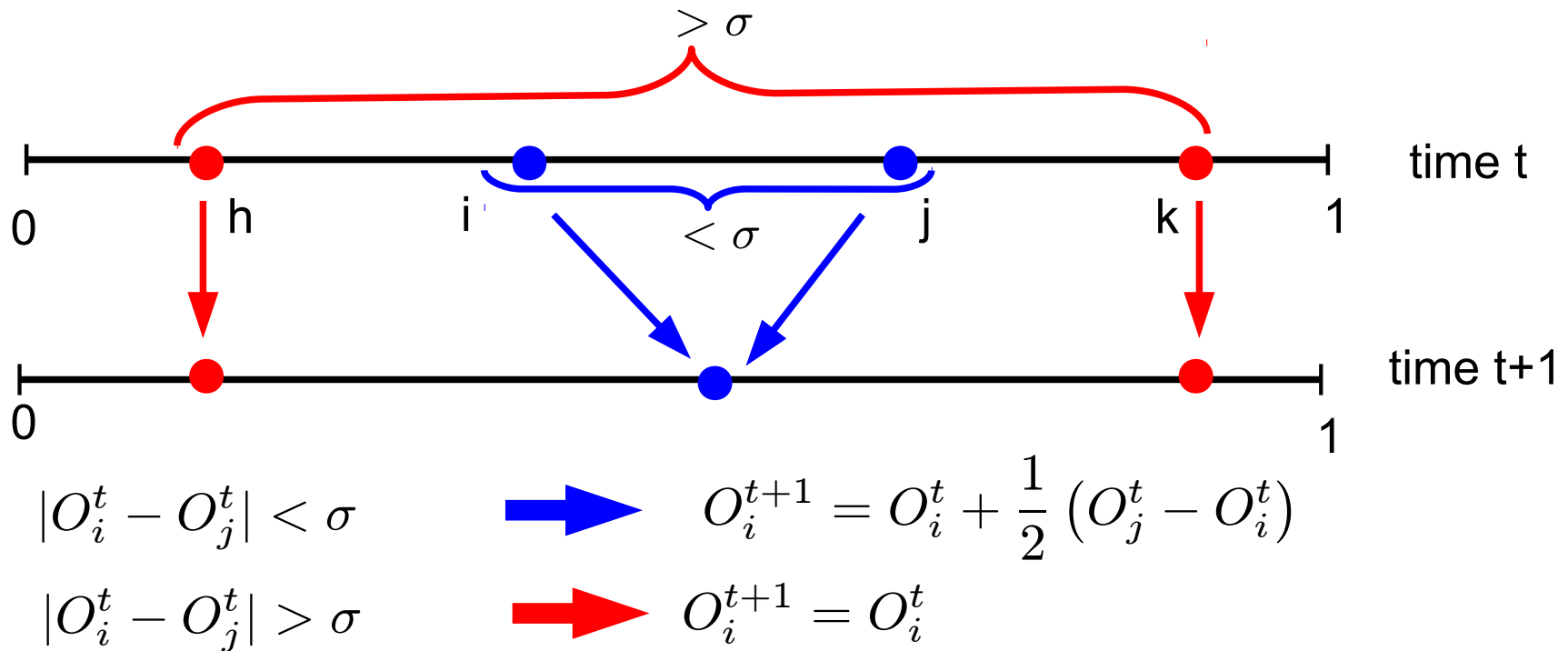


Bounded Confidence Models : Deffuant et al.

(more this afternoon in the sociophysics workshop)

G. Weisbuch, G. Deffuant, F. Amblard, J.-P. Nadal, « Meet, Discuss, and Segregate! », Complexity, 7, 3, (2002), pp. 55.

N agents with continuous opinions $O_i^t \in [0, 1]$



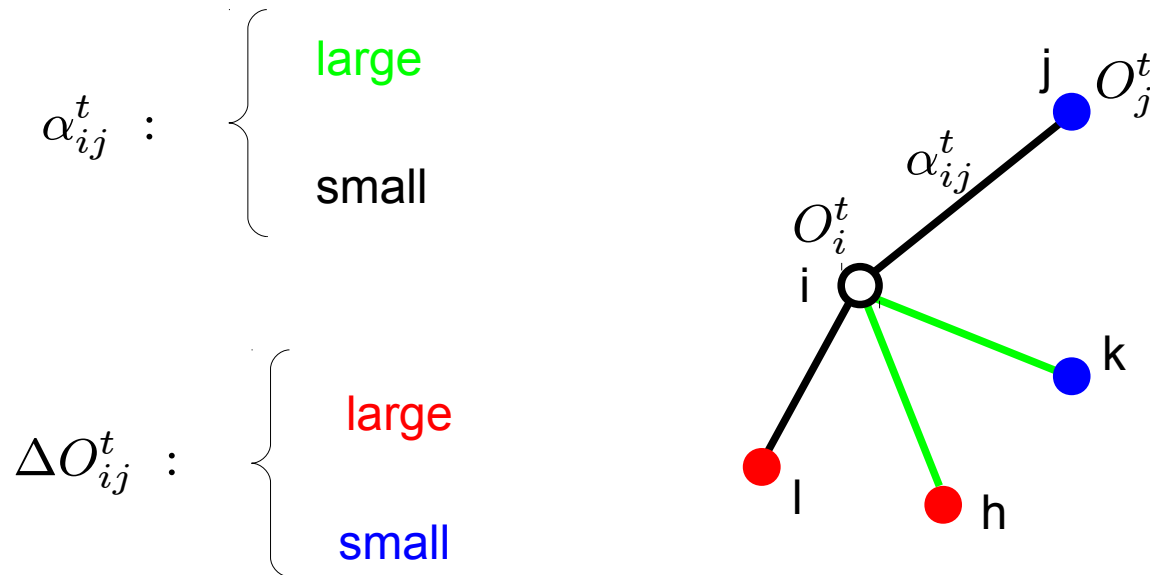
Bounded Confidence (R. Axelrod, «The dissemination of Culture: A model with local convergence and global polarization », J. of Conflict Resolution, 41, 2, (1997), pp. 203.)

Take care of social interactions : A new model

N agents with continuous opinions $O_i^t \in [0, 1]$

Each agent measures its « affinity » with respect to the others $\alpha_{ij}^t \in [0, 1]$

Larger values of α_{ij}^t are associated to more trustable relationships.



Local interaction rules

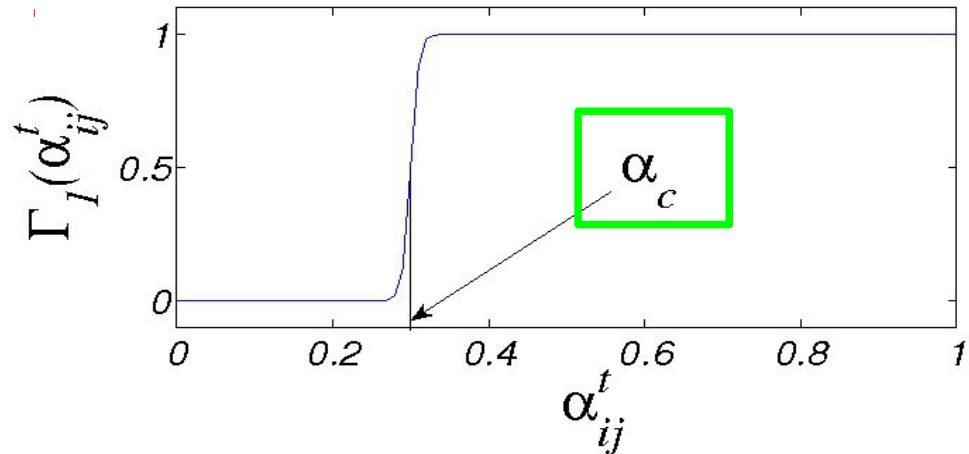
$$O_i^{t+1} = O_i^t - \frac{1}{2} \Delta O_{ij}^t \Gamma_1(\alpha_{ij}^t)$$

social interaction

Deffuant model

$$\Delta O_{ij}^t = O_i^t - O_j^t$$

agents i and j exchange opinions
if they are « affine enough »



Local interaction rules

$$O_i^{t+1} = O_i^t - \frac{1}{2} \Delta O_{ij}^t \Gamma_1(\alpha_{ij}^t)$$

social interaction

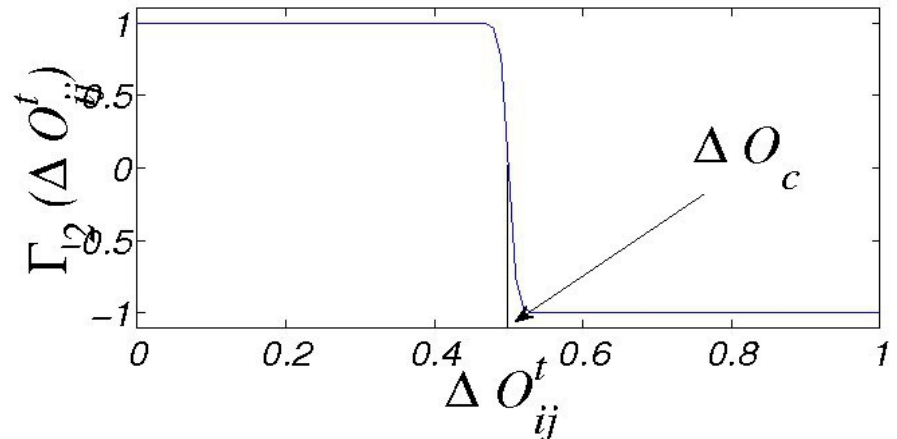
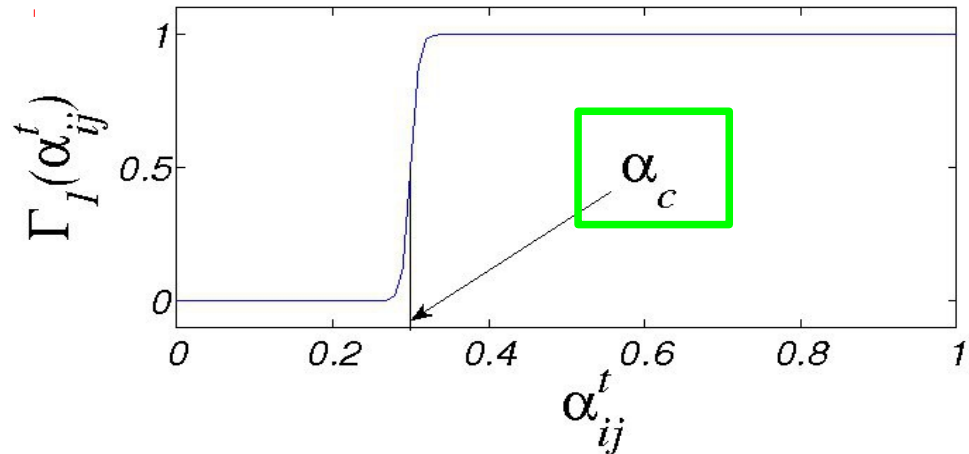
Deffuant model

$$\Delta O_{ij}^t = O_i^t - O_j^t$$

agents i and j exchange opinions if they are « affine enough »

$$\alpha_{ij}^{t+1} = \alpha_{ij}^t + \alpha_{ij}^t (1 - \alpha_{ij}^t) \Gamma_2(\Delta O_{ij}^t)$$

mutual affinity increases if agents share « close enough » opinions.



The selection rule: social distance

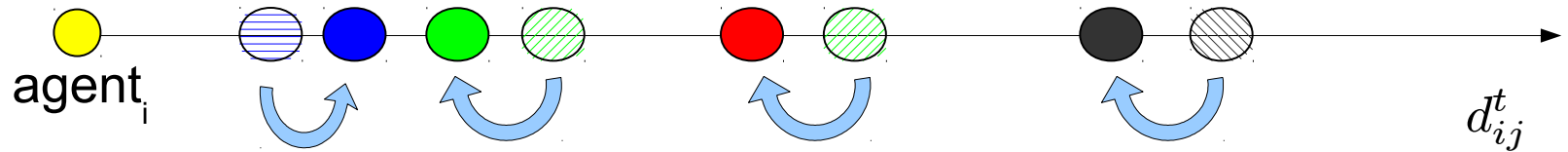
1) **social distance** among agents i and j : $d_{ij}^t = |\Delta O_{ij}^t| (1 - \alpha_{ij}^t)$

2) **social metric** : $D_{ij}^t = d_{ij}^t + \mathcal{N}(0, \sigma)$

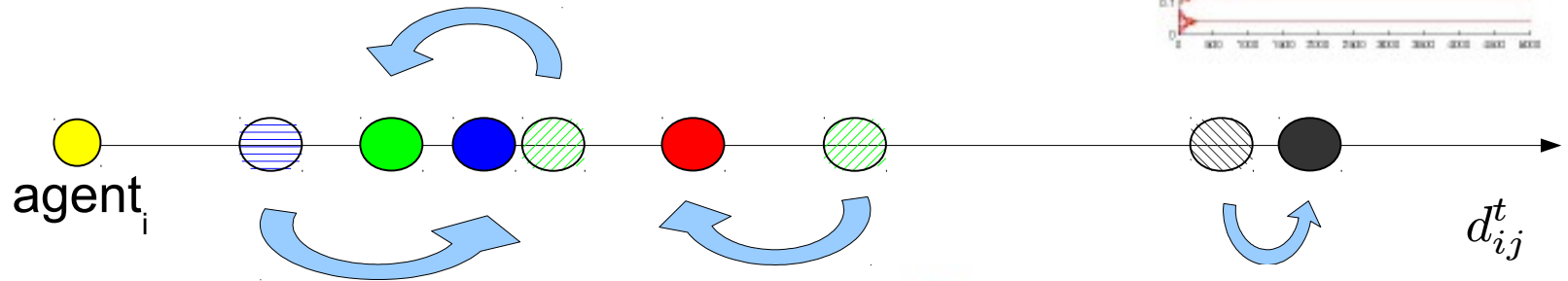
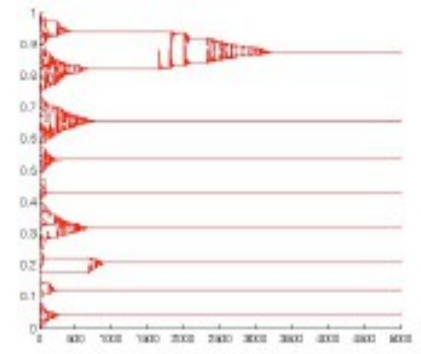
Gaussian Noise (mean 0 and variance σ) :
to represent social mixing among agents

3) random **selection** of agent i , then agent j minimizes D_{ij}^t

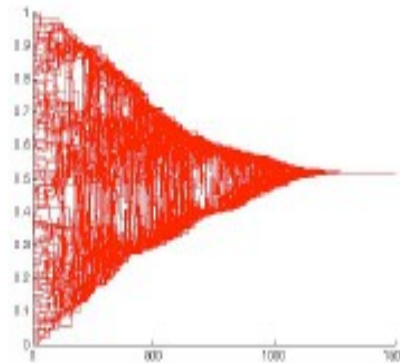
The selection rule: σ social temperature



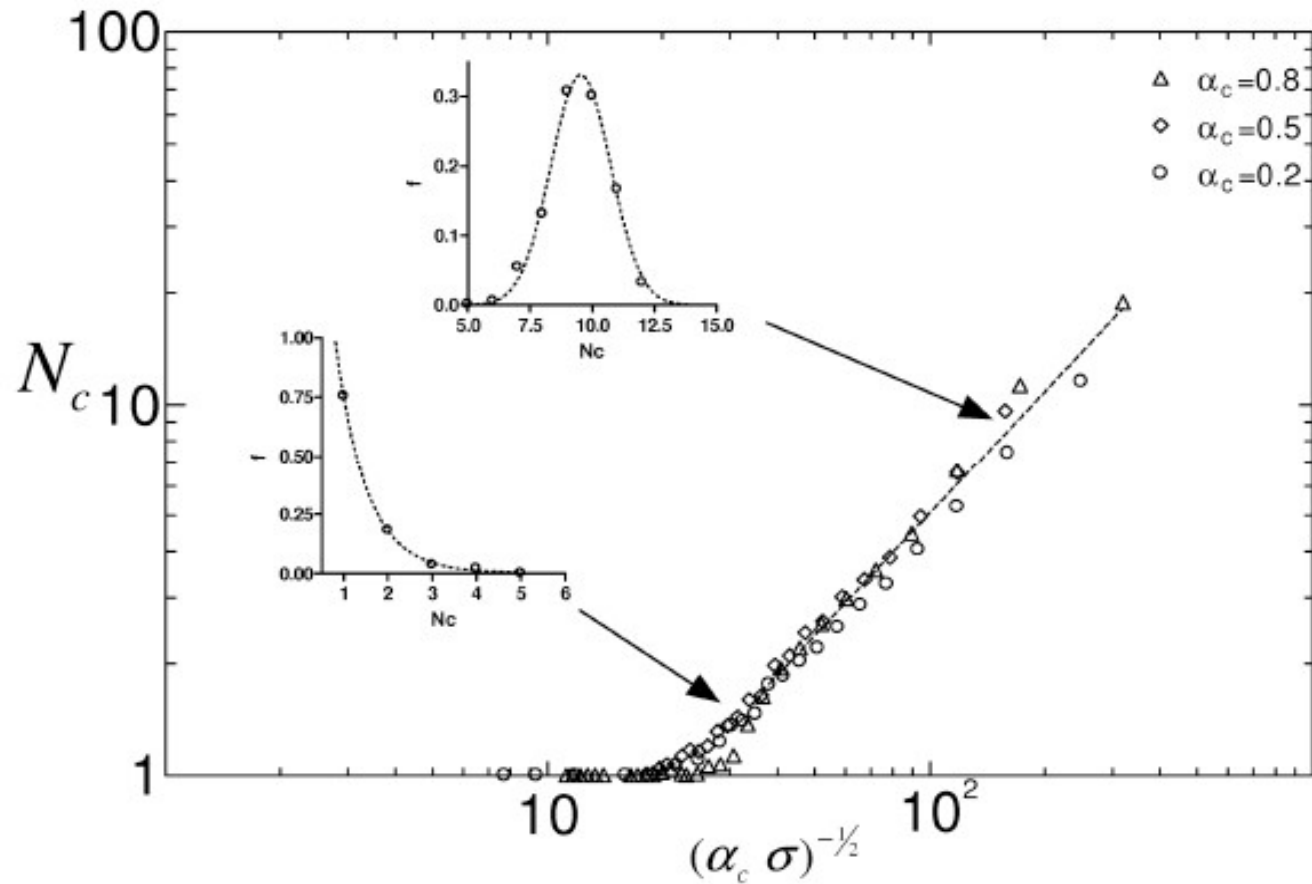
« cold » groups ($\sigma \ll 1$)



« warm » groups ($\sigma \gg 1$)



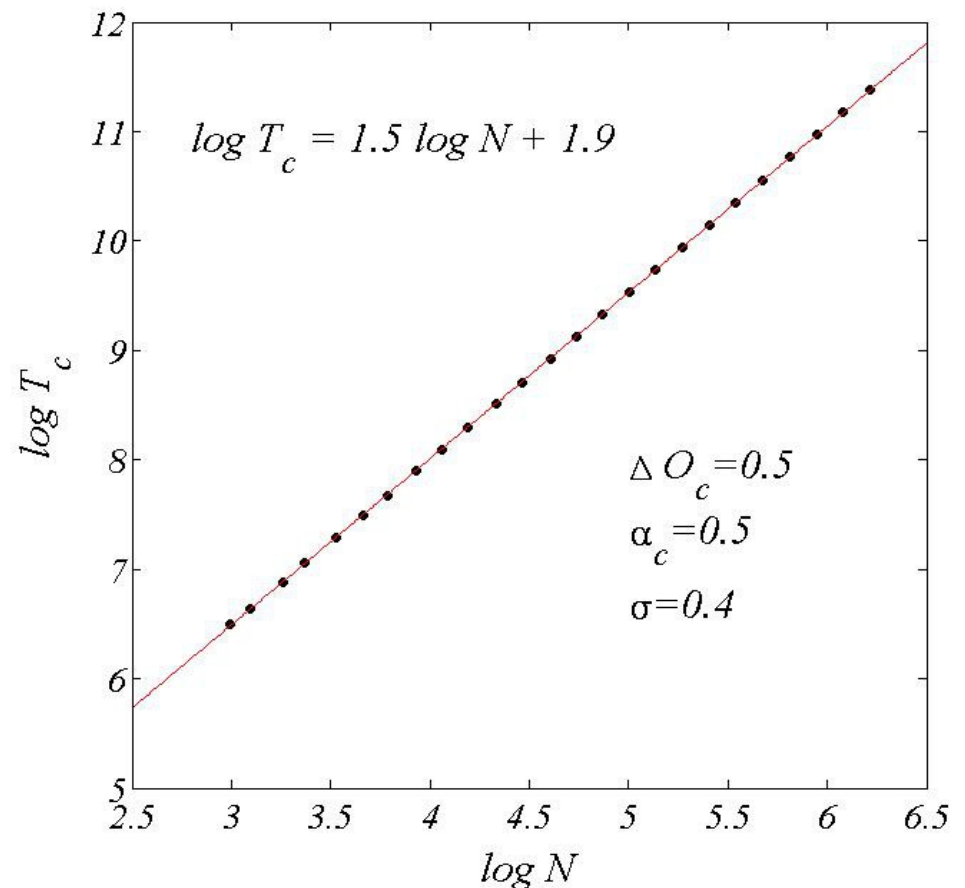
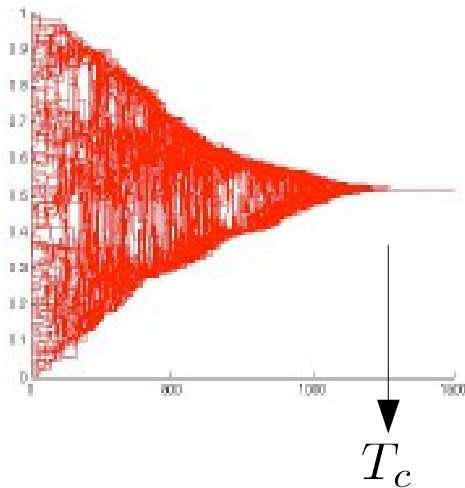
Phase transition : consensus vs fragmentations



Dynamical affinity in opinion dynamics modeling, PRE, **76**, pp 066105, (2007).

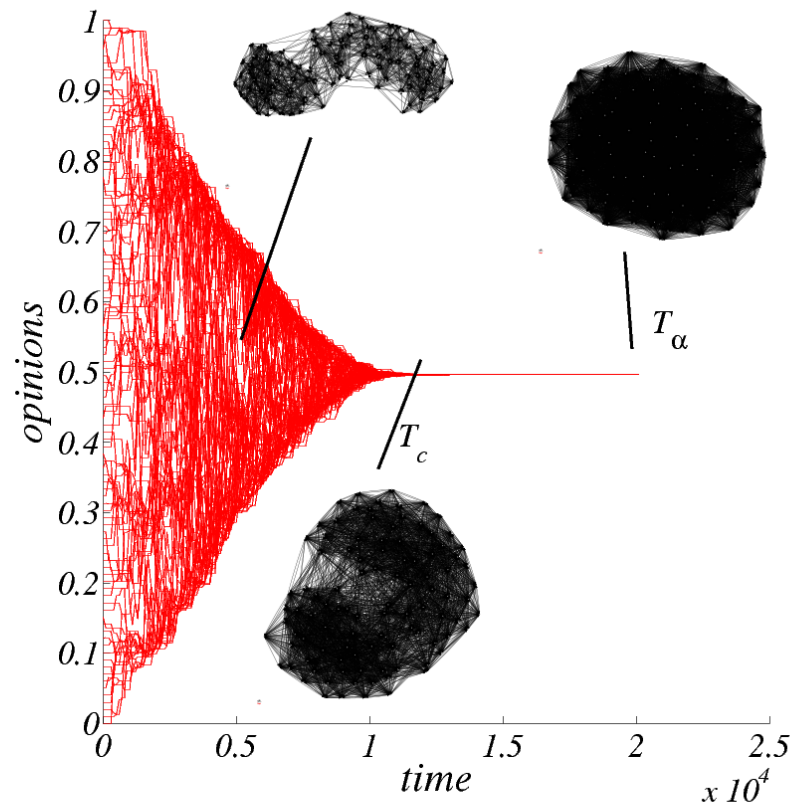
Opinion convergence time

opinion convergence time, T_c : time needed to aggregate all the agents to the main opinion group.



Affinity convergence time

Affinity convergence time, T_α : time needed for the convergence of the mean group affinity to its asymptotic value.



Affinity = adjacency matrix weighted adaptive social network

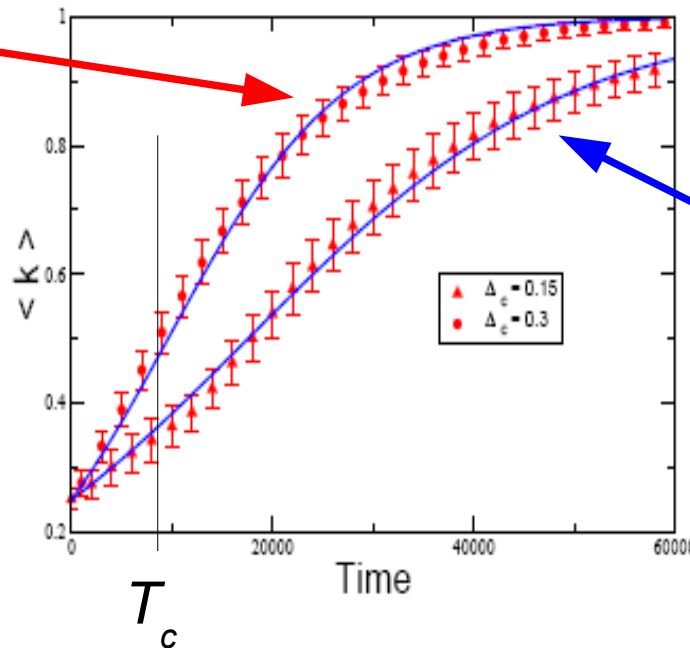
Evolution of the social network

(weighted) degree of i-th node: $k_i^t = \frac{1}{N-1} \sum_j \alpha_{ij}^t$

normalizing factor

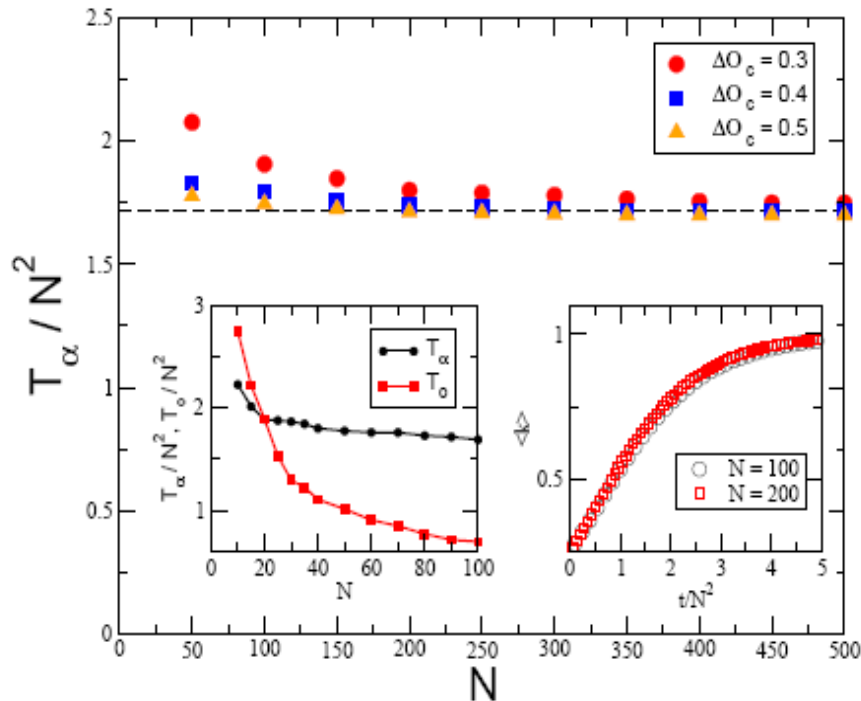
averaged (weighted) degree: $\langle k^t \rangle = \frac{1}{N} \sum_i k_i^t$

numerical simulations



analytical results

Small vs large groups



the sociological distinction between large and small groups = dynamical effect

Large groups = the opinion convergence is the driving force for the aggregation process, affinity converging on larger time scales.

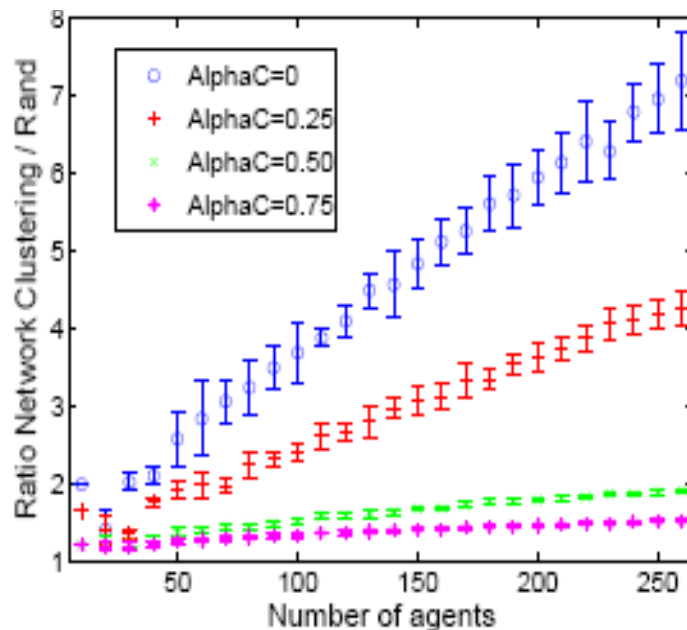
Small groups = convergence in mutual affinity is faster and only subsequently achieved a final consensus

Social network topology : small world

$$c_i = \frac{2e_i}{k_i(k_i - 1)} = \frac{\sum_{j,m} a_{ij} a_{jm} a_{mi}}{k_i(k_i - 1)}$$

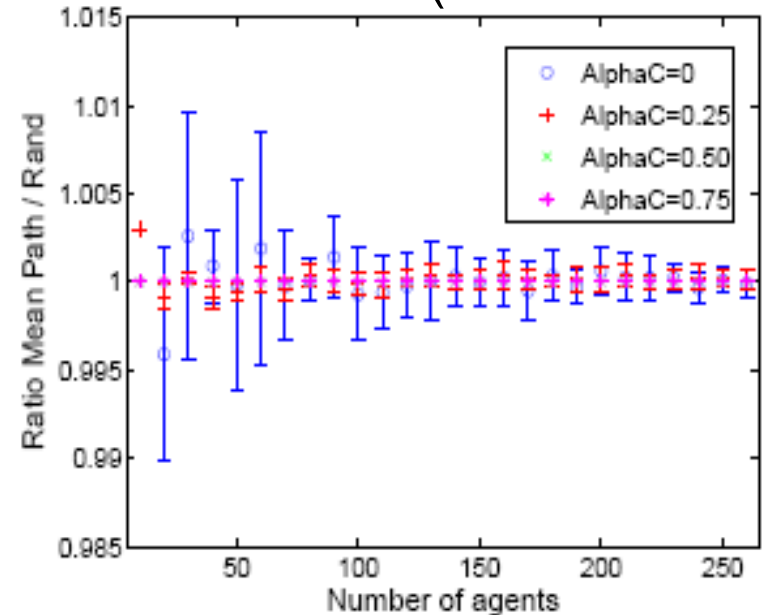
$e_i = \#\{\text{nodes adjacent to node } i\}$

$$C = \langle c \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i \in \mathcal{N}} c_i$$



Clustering coefficient larger than in random network (same N and E)

Mean path same order than in random network (same N and E)



$$L = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i,j \in \mathcal{N}, i \neq j} d_{ij}$$

$d_{ij} = \#\{\text{length of geodesic path between } i \text{ and } j\}$

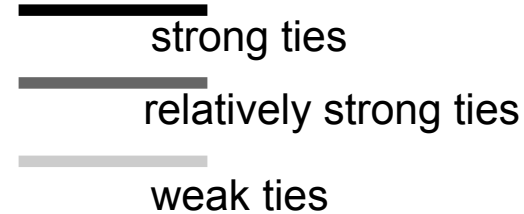
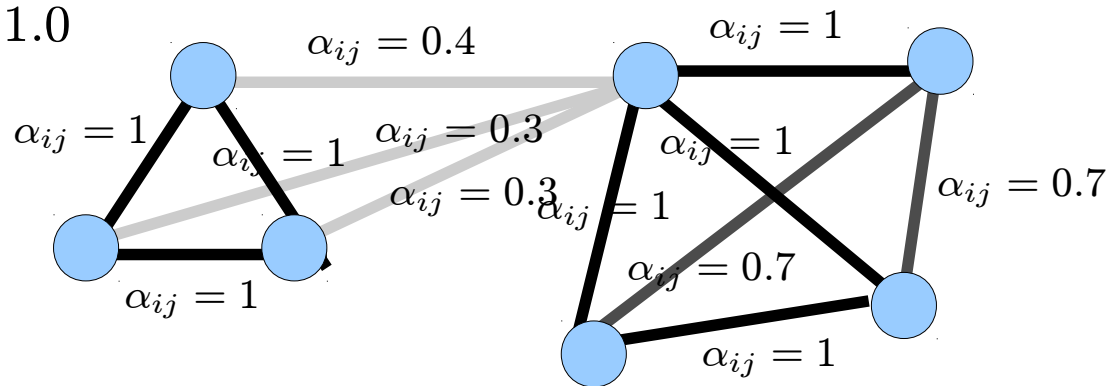
$$a_{ij} = [\alpha_{ij} - \alpha_f]$$

adjacency matrix

α_f "friendship level"

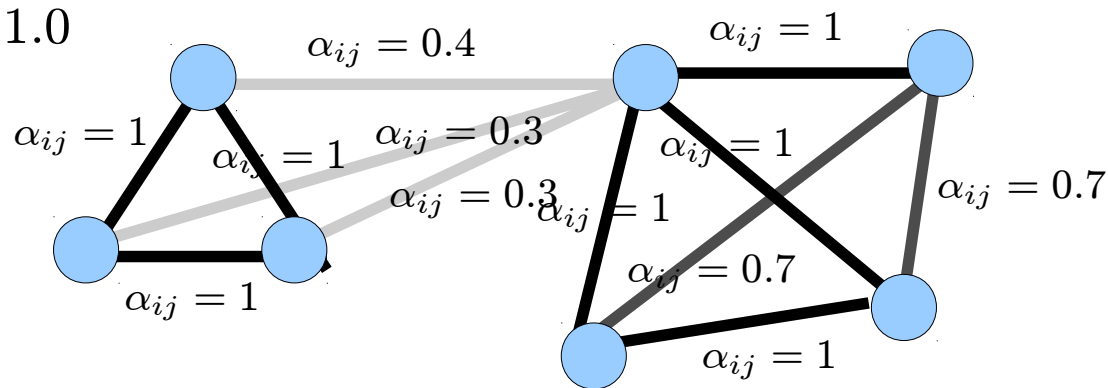
Social network topology : weak ties

$$\alpha_f = 1.0$$

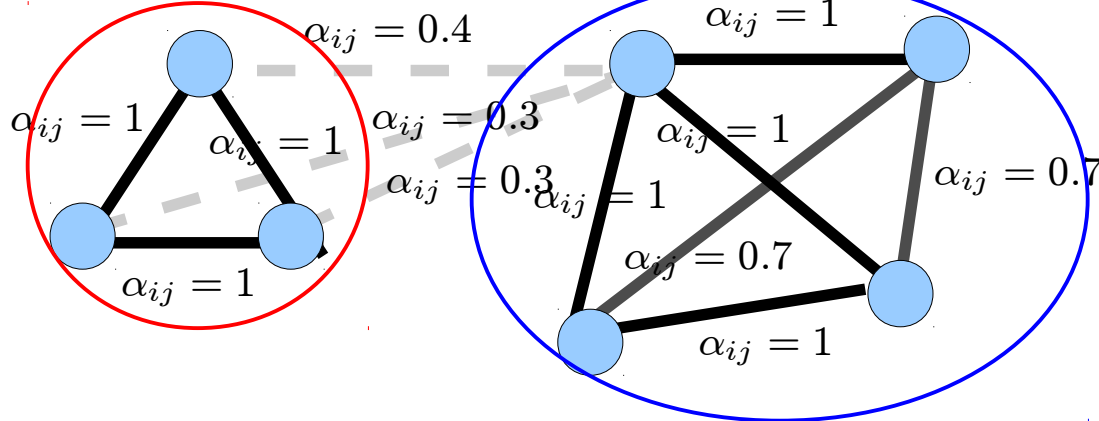


Social network topology : weak ties

$\alpha_f = 1.0$



$\alpha_f = 0.9$

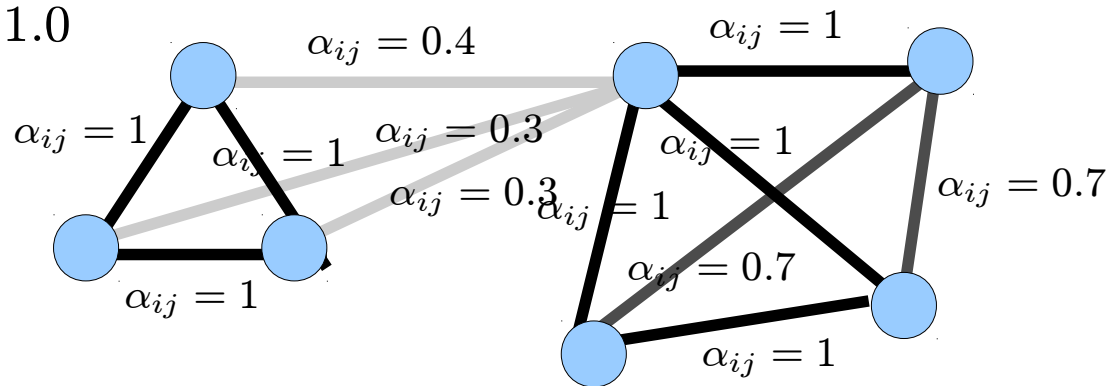


3 cliques

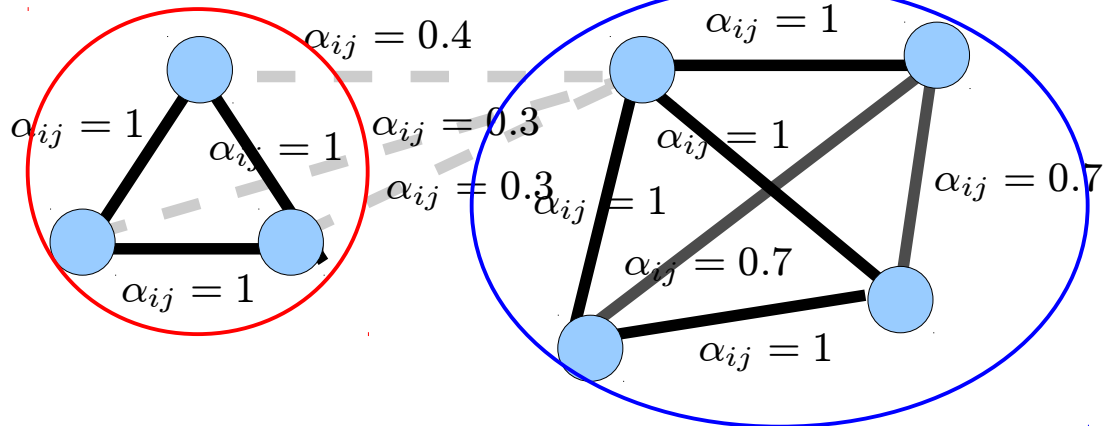
4 cliques

Social network topology : weak ties

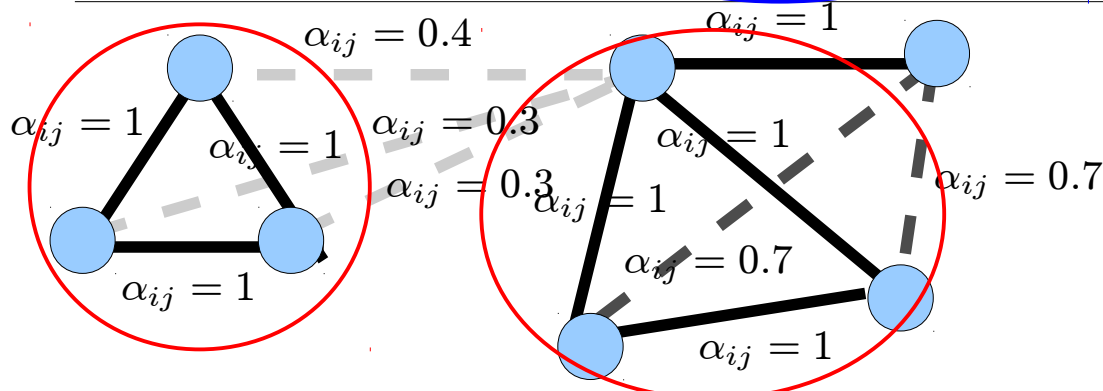
$\alpha_f = 1.0$



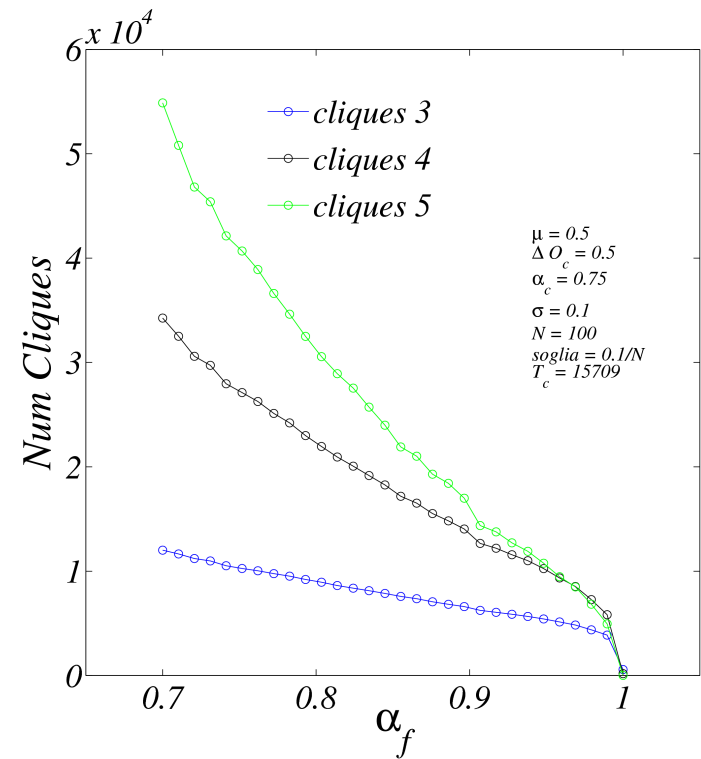
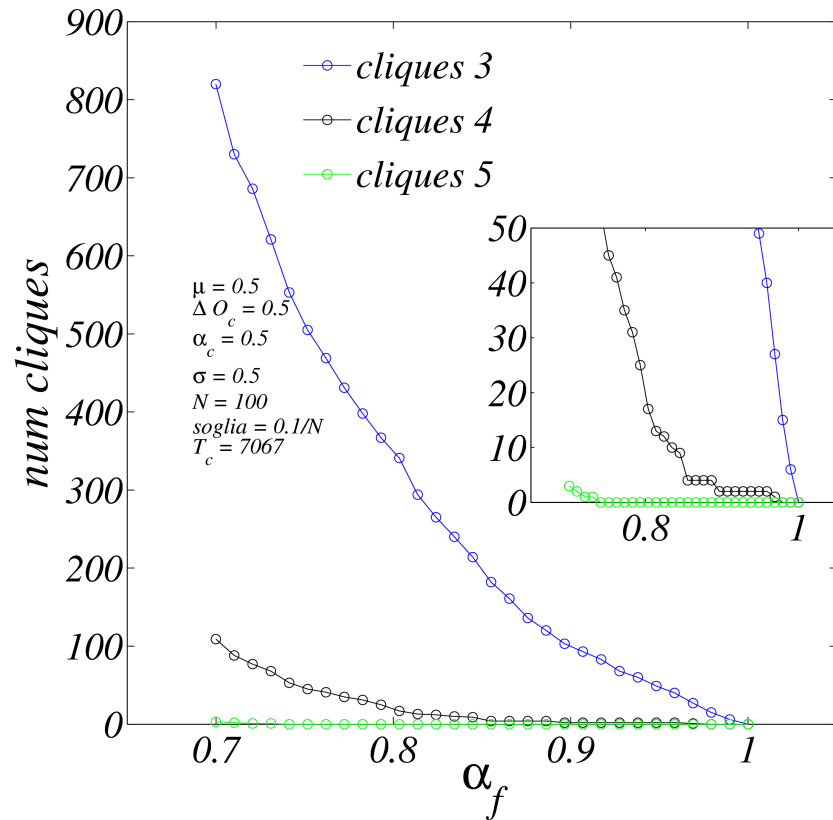
$\alpha_f = 0.9$



$\alpha_f = 0.6$



Social network topology : weak ties





Work in progress ...

- ▶ Propaganda by mass media
- ▶ Open model, i.e. death and birth
- ▶ Agents do not longer interact binary but in **small groups**
- ▶ Consider larger populations (technical problems to store dense large networks)
- ▶ Consider other **initial distributions** of affinity, say scale free, small world, regular lattice, and study the evolution of the society
- ▶ We only have **aggregation** of groups, which is a realistic mechanism to be introduced to have also divisions ?



University of Namur, Belgium



Tuesday the 18th December 2012

SVTN “J.D. van der Waals”
Eindhoven University of Technology

**Meet, discuss and trust each other:
modeling (small) social networks**

Timoteo Carletti

Department of Mathematics

&

naxys, Namur Center for Complex **Systems**
Namur Center for Complex Systems

University of Namur, Belgium

timoteo.carletti@fundp.ac.be