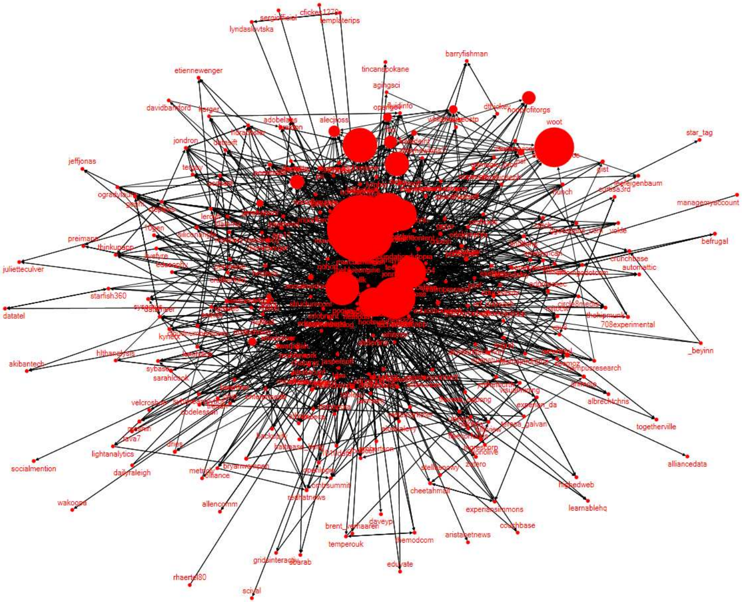
FaceBook aime les Maths !

Michel Rigo

http://www.discmath.ulg.ac.be/
http://orbi.ulg.ac.be/

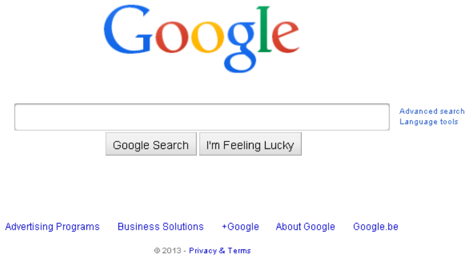
Université de Liège

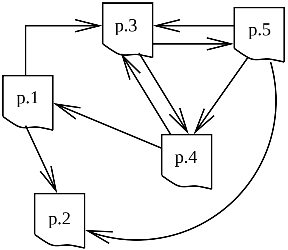
Réseaux



Visualizing my Twitter Network by number of followers.

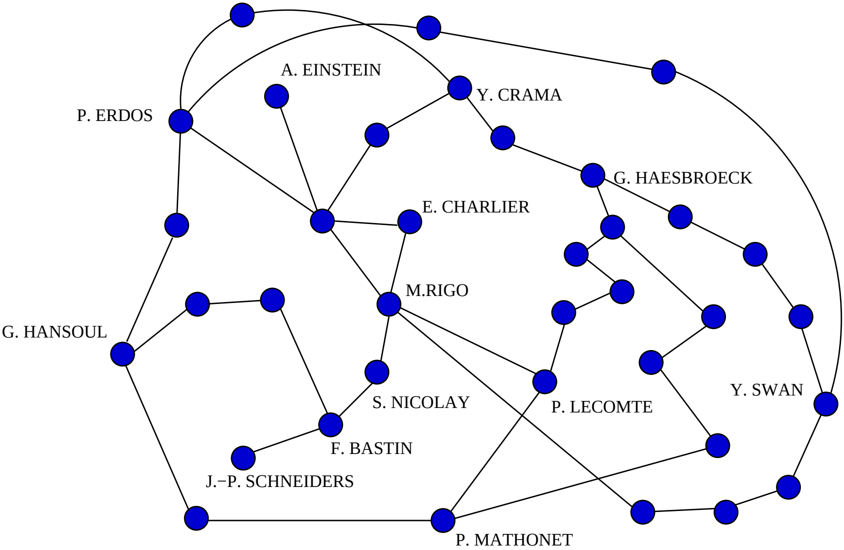
Michael Atkisson http://woknowing.wordpress.com/





Les pages et les liens entre les pages

Des co-auteurs scientifiques et le nombre d'Erdős



sous-graphe, chemins les plus courts (septembre 2014)

M. Newman, the structure of scientific collaboration networks (2001).

Qu'est qu'un graphe ?

On veut modéliser des relations (symétriques ou orientées).

On considère un ensemble V de *sommets* et
une partie $E \subseteq V \times V$, un ensemble de couples de sommets.

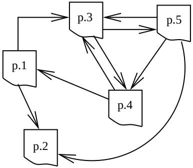
FaceBook

- V est l'ensemble des utilisateurs,
- (u, v) ET (v, u) appartiennent à E si u et v sont "*amis*".

Twitter

- V est l'ensemble des utilisateurs,
- (u, v) appartient à E si u est un "*follower*" de v.

Qu'est qu'un graphe ?



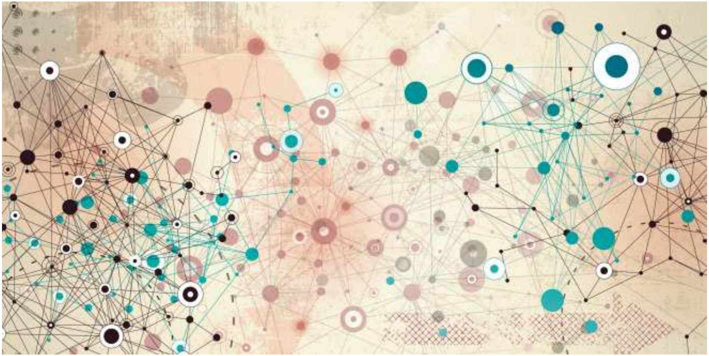
Le graphe du web

- V est l'ensemble des pages web,
- (u, v) appartient à E si la page u a un *lien* vers la page v.

Le graphe des co-auteurs

- V est l'ensemble des scientifiques publiant des articles de recherche,
- (u, v) ET (v, u) appartiennent à E si u et v ont écrit un article ensemble.

Is Graph Theory Key to Understanding Big Data?
WIRED Mars 2014



iStock.com/AF-studio

Graph Theory: Key to Understanding Big Data
WIRED Mai 2014

Facebook CEO Mark Zuckerberg shows off Graph Search.

Photo: Ariel Zambelich/Wired

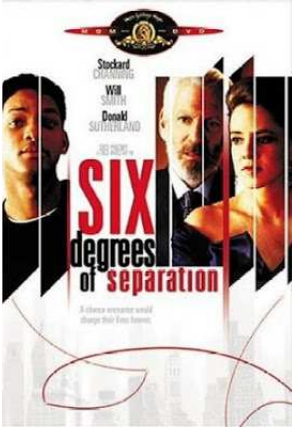
http://innovationinsights.wired.com/insights/2014/05/graph-theory-key-understanding-big-data-2/

$\boxed{\text{Avoir des outils pour les GRANDS graphes...}}$

- calcul de distances
- détection de communautés
- homophilie : tendance à se rapprocher de ses semblables

Small-world phenomenom

"I read somewhere that everybody on this planet is separated only by six other people. *Six degrees of separation*. Between us and everyone else on this planet."

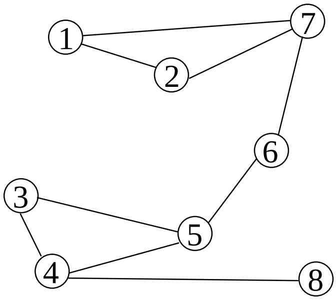


John Guare

Calcul de distances et produit matriciel

Stanley Milgram, *Psychology Today* (1967).

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$



Produit matriciel

$$\begin{pmatrix} \star & \star & \star & \star \\ a & b & c & d \\ \star & \star & \star & \star \\ \star & \star & \star & \star \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \star & \star & u & \star \\ \star & \star & v & \star \\ \star & \star & w & \star \\ \star & \star & x & \star \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} -- & -- & -- & -- \\ -- & -- & ?? & -- \\ -- & -- & -- & -- \\ -- & -- & -- & -- \end{pmatrix}$$

$$?? =$$

Produit matriciel

$$\begin{pmatrix} \star & \star & \star & \star \\ {\color{red}a} & b & c & d \\ \star & \star & \star & \star \\ \star & \star & \star & \star \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \star & \star & {\color{blue}u} & \star \\ \star & \star & v & \star \\ \star & \star & w & \star \\ \star & \star & x & \star \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} -- & -- & -- & -- \\ -- & -- & ?? & -- \\ -- & -- & -- & -- \\ -- & -- & -- & -- \end{pmatrix}$$

$$?? = {\color{red}a}{\color{blue}u} +$$

Produit matriciel

$$\begin{pmatrix} \star & \star & \star & \star \\ \color{red}{a} & \color{red}{b} & c & d \\ \star & \star & \star & \star \\ \star & \star & \star & \star \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \star & \star & \color{blue}{u} & \star \\ \star & \star & \color{blue}{v} & \star \\ \star & \star & w & \star \\ \star & \star & x & \star \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} -- & -- & -- & -- \\ -- & -- & ?? & -- \\ -- & -- & -- & -- \\ -- & -- & -- & -- \end{pmatrix}$$

$$?? = \color{red}{a}\color{blue}{u} + \color{red}{b}\color{blue}{v} +$$

Produit matriciel

$$\begin{pmatrix} \star & \star & \star & \star \\ \color{red}{a} & \color{red}{b} & \color{red}{c} & d \\ \star & \star & \star & \star \\ \star & \star & \star & \star \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \star & \star & \color{blue}{u} & \star \\ \star & \star & \color{blue}{v} & \star \\ \star & \star & \color{blue}{w} & \star \\ \star & \star & x & \star \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} -- & -- & -- & -- \\ -- & -- & ?? & -- \\ -- & -- & -- & -- \\ -- & -- & -- & -- \end{pmatrix}$$

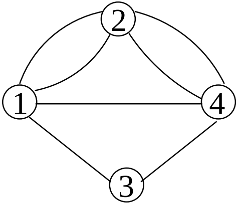
$$?? = \color{red}{a}\color{blue}{u} + \color{red}{b}\color{blue}{v} + \color{red}{c}\color{blue}{w} +$$

Produit matriciel

$$\begin{pmatrix} \star & \star & \star & \star \\ a & b & c & d \\ \star & \star & \star & \star \\ \star & \star & \star & \star \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \star & \star & u & \star \\ \star & \star & v & \star \\ \star & \star & w & \star \\ \star & \star & x & \star \end{pmatrix}$$

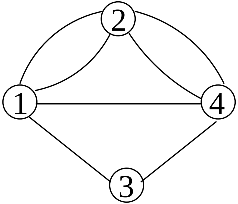
$$= \begin{pmatrix} -- & -- & -- & -- \\ -- & -- & ?? & -- \\ -- & -- & -- & -- \\ -- & -- & -- & -- \end{pmatrix}$$

$$?? = au + bv + cw + dx$$



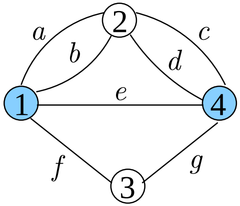
$$\begin{pmatrix} 0 & 2 & 1 & 1 \\ 2 & 0 & 0 & 2 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0 & 2 & 1 & 1 \\ 2 & 0 & 0 & 2 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 0 \end{pmatrix}^2 = \begin{pmatrix} 0 & 2 & 1 & 1 \\ 2 & 0 & 0 & 2 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 2 & 1 & 1 \\ 2 & 0 & 0 & 2 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 6 & 2 & 1 & 5 \\ 2 & 8 & 4 & 2 \\ 1 & 4 & 2 & 1 \\ 5 & 2 & 1 & 6 \end{pmatrix}$$



$$\begin{pmatrix} 0 & 2 & 1 & 1 \\ 2 & 0 & 0 & 2 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0 & 2 & 1 & 1 \\ 2 & 0 & 0 & 2 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 0 \end{pmatrix}^2 = \begin{pmatrix} 0 & 2 & 1 & 1 \\ 2 & 0 & 0 & 2 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 2 & 1 & 1 \\ 2 & 0 & 0 & 2 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 6 & 2 & 1 & 5 \\ 2 & 8 & 4 & 2 \\ 1 & 4 & 2 & 1 \\ 5 & 2 & 1 & 6 \end{pmatrix}$$



$$\begin{pmatrix} 0 & 2 & 1 & 1 \\ 2 & 0 & 0 & 2 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0 & 2 & 1 & 1 \\ 2 & 0 & 0 & 2 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 0 \end{pmatrix}^2 = \begin{pmatrix} 0 & 2 & 1 & 1 \\ 2 & 0 & 0 & 2 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 2 & 1 & 1 \\ 2 & 0 & 0 & 2 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 6 & 2 & 1 & 5 \\ 2 & 8 & 4 & 2 \\ 1 & 4 & 2 & 1 \\ 5 & 2 & 1 & 6 \end{pmatrix}$$

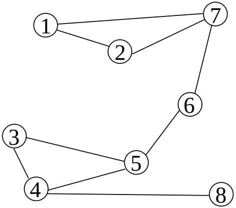
$$5 = 2 \times 2 + 1 \text{ car } a \to c,\ a \to d,\ b \to c,\ b \to d,\ f \to g.$$

Théorème

Si A est la matrice d'adjacence d'un graphe, alors $(A^n)_{i,j}$ est le nombre de chemins de longueur n joignant i à j.

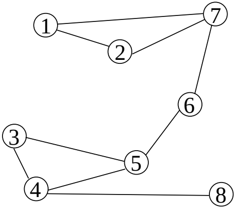
Preuve : Par récurrence sur n.

Vérifier uniquement par “calcul” les 6 degrés de séparation



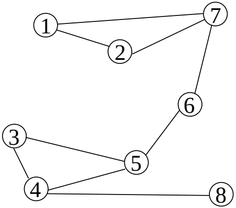
$$\underbrace{\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}}_{=M^1}, \quad \begin{pmatrix} - & \color{red}{1} & - & - & - & - & \color{red}{1} & - \\ \color{red}{1} & - & - & - & - & - & \color{red}{1} & - \\ - & - & - & \color{red}{1} & \color{red}{1} & - & - & - \\ - & - & \color{red}{1} & - & \color{red}{1} & - & - & \color{red}{1} \\ - & - & \color{red}{1} & \color{red}{1} & - & \color{red}{1} & - & - \\ - & - & - & - & \color{red}{1} & - & \color{red}{1} & - \\ \color{red}{1} & \color{red}{1} & - & - & - & \color{red}{1} & - & - \\ - & - & - & \color{red}{1} & - & - & - & - \end{pmatrix}$$

Vérifier uniquement par “calcul” les 6 degrés de séparation



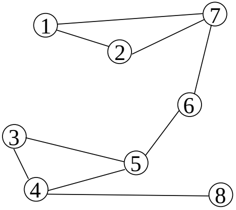
$$\underbrace{\begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 2 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 3 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 3 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{=M^2}, \quad \begin{pmatrix} 2 & 1 & - & - & - & 2 & 1 & - \\ 1 & 2 & - & - & - & 2 & 1 & - \\ - & - & 2 & 1 & 1 & 2 & - & 2 \\ - & - & 1 & 2 & 1 & 2 & - & 1 \\ - & - & 1 & 1 & 2 & 1 & 2 & 2 \\ 2 & 2 & 2 & 2 & 1 & 2 & 1 & - \\ 1 & 1 & - & - & 2 & 1 & 2 & - \\ - & - & 2 & 1 & 2 & - & - & 2 \end{pmatrix}$$

Vérifier uniquement par "calcul" les 6 degrés de séparation



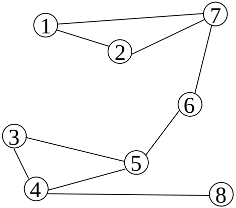
$$\underbrace{\begin{pmatrix} 2 & 3 & 0 & 0 & 1 & 1 & 4 & 0 \\ 3 & 2 & 0 & 0 & 1 & 1 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 4 & 4 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 4 & 2 & 5 & 1 & 1 & 3 \\ 1 & 1 & 4 & 5 & 2 & 4 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 4 & 0 & 4 & 1 \\ 4 & 4 & 1 & 1 & 0 & 4 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 3 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}}_{=M^3}, \quad \begin{pmatrix} 2 & 1 & - & - & 3 & 2 & 1 & - \\ 1 & 2 & - & - & 3 & 2 & 1 & - \\ - & - & 2 & 1 & 1 & 2 & 3 & 2 \\ - & - & 1 & 2 & 1 & 2 & 3 & 1 \\ 3 & 3 & 1 & 1 & 2 & 1 & 2 & 2 \\ 2 & 2 & 2 & 2 & 1 & 2 & 1 & 3 \\ 1 & 1 & 3 & 3 & 2 & 1 & 2 & - \\ - & - & 2 & 1 & 2 & 3 & - & 2 \end{pmatrix}$$

Vérifier uniquement par “calcul” les 6 degrés de séparation



$$\underbrace{\begin{pmatrix} 7 & 6 & 1 & 1 & 1 & 5 & 6 & 0 \\ 6 & 7 & 1 & 1 & 1 & 5 & 6 & 0 \\ 1 & 1 & 8 & 7 & 7 & 5 & 1 & 4 \\ 1 & 1 & 7 & 12 & 7 & 6 & 1 & 2 \\ 1 & 1 & 7 & 7 & 13 & 2 & 6 & 5 \\ 5 & 5 & 5 & 6 & 2 & 8 & 2 & 1 \\ 6 & 6 & 1 & 1 & 6 & 2 & 12 & 1 \\ 0 & 0 & 4 & 2 & 5 & 1 & 1 & 3 \end{pmatrix}}_{=M^4}, \quad \begin{pmatrix} 2 & 1 & 4 & 4 & 3 & 2 & 1 & - \\ 1 & 2 & 4 & 4 & 3 & 2 & 1 & - \\ 4 & 4 & 2 & 1 & 1 & 2 & 3 & 2 \\ 4 & 4 & 1 & 2 & 1 & 2 & 3 & 1 \\ 3 & 3 & 1 & 1 & 2 & 1 & 2 & 2 \\ 2 & 2 & 2 & 2 & 1 & 2 & 1 & 3 \\ 1 & 1 & 3 & 3 & 2 & 1 & 2 & 4 \\ - & - & 2 & 1 & 2 & 3 & 4 & 2 \end{pmatrix}$$

Vérifier uniquement par “calcul” les 6 degrés de séparation



$$\underbrace{\begin{pmatrix} 12 & 13 & 2 & 2 & 7 & 7 & 18 & 1 \\ 13 & 12 & 2 & 2 & 7 & 7 & 18 & 1 \\ 2 & 2 & 14 & 19 & 20 & 8 & 7 & 7 \\ 2 & 2 & 19 & 16 & 25 & 8 & 8 & 12 \\ 7 & 7 & 20 & 25 & 16 & 19 & 4 & 7 \\ 7 & 7 & 8 & 8 & 19 & 4 & 18 & 6 \\ 18 & 18 & 7 & 8 & 4 & 18 & 14 & 1 \\ 1 & 1 & 7 & 12 & 7 & 6 & 1 & 2 \end{pmatrix}}_{=M^5}, \begin{pmatrix} 2 & 1 & 4 & 4 & 3 & 2 & 1 & 5 \\ 1 & 2 & 4 & 4 & 3 & 2 & 1 & 5 \\ 4 & 4 & 2 & 1 & 1 & 2 & 3 & 2 \\ 4 & 4 & 1 & 2 & 1 & 2 & 3 & 1 \\ 3 & 3 & 1 & 1 & 2 & 1 & 2 & 2 \\ 2 & 2 & 2 & 2 & 1 & 2 & 1 & 3 \\ 1 & 1 & 3 & 3 & 2 & 1 & 2 & 4 \\ 5 & 5 & 2 & 1 & 2 & 3 & 4 & 2 \end{pmatrix}$$

Remarque

Calculer un élément d'un produit de deux matrices $n \times n$ nécessite

- n produits de nombres,
- $n - 1$ sommes.

Donc, en tout, on a n^3 produits de nombres à calculer.

Algorithme de Strassen (1969)

Multiplication de matrices 2×2 avec 7 multiplications
récursivement, nombre de multiplications $\mathcal{O}(n^{\log_2 7}) \simeq \mathcal{O}(n^{2,807})$.
$\ominus$ problèmes de stabilité numérique (si approximations).

Algorithme de Coppersmith–Winograd (2010)

nombre de multiplications $\mathcal{O}(n^{2,375477})$.

Algorithme de François Le Gall (2014)

nombre de multiplications $\mathcal{O}(n^{2,3728639})$.

Remarque

Calculer un élément d'un produit de deux matrices $n \times n$ nécessite

- n produits de nombres,
- $n - 1$ sommes.

Donc, en tout, on a n^3 produits de nombres à calculer.

Algorithme de Strassen (1969)

Multiplication de matrices 2×2 avec 7 multiplications
récursivement, nombre de multiplications $\mathcal{O}(n^{\log_2 7}) \simeq \mathcal{O}(n^{2,807})$.
$\ominus$ problèmes de stabilité numérique (si approximations).

Algorithme de Coppersmith–Winograd (2010)

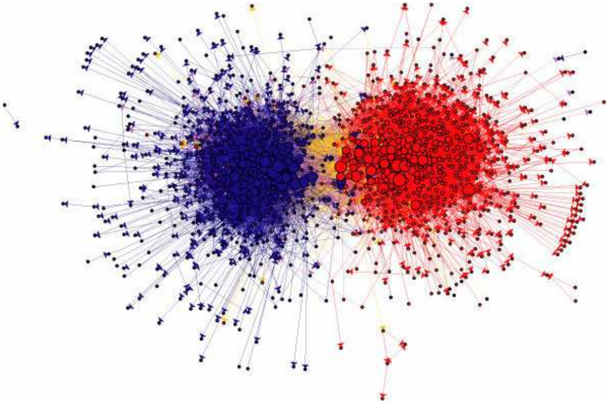
nombre de multiplications $\mathcal{O}(n^{2,375477})$.

Algorithme de François Le Gall (2014)

nombre de multiplications $\mathcal{O}(n^{2,3728639})$.

La détection de communautés

blogs politiques avant l'élection présidentielle aux USA de 2004.



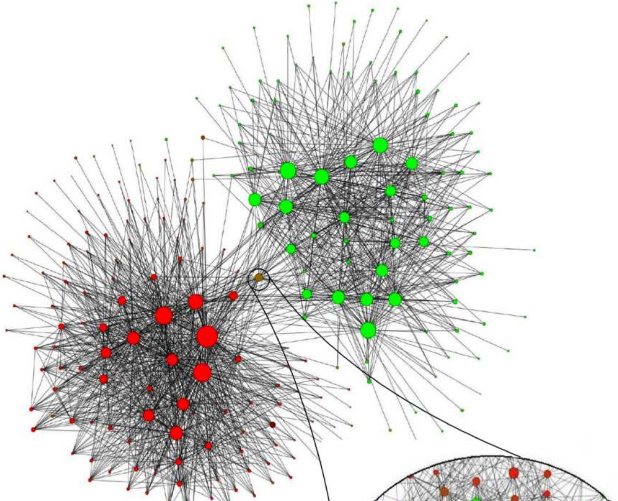
http://www-personal.umich.edu/˜ladamic/img/politicalblogs.jpg

La détection de communautés

On recherche des régions hautement interconnectées

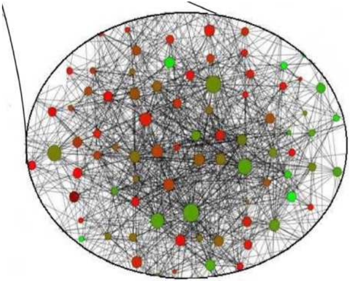
Fast unfolding of communities in large networks,

V. D. Blondel, J.-L. Guillaume, R. Lambiotte, E. Lefebvre (2008)



La détection de communautés

Fast unfolding of communities in large networks,
V. D. Blondel, J.-L. Guillaume, R. Lambiotte, E. Lefebvre (2008)



http://arxiv.org/abs/0803.0476

2,6 millions d'abonnés, plus d'un milliard d'appels

La détection de communautés

D'autres méthodes existent :

- division/effacement, Girvan, Newman 2002–2004, Radicchi et al. 2004
- agglomération récursive, Pons, Latapy 2006
- Maximiser une fonction objectif, Clauset, Newman, Moore 2004, Wu, Huberman 2004

La qualité du résultat est mesuré par la *modularité* $M \in [-1, 1]$,

$$M = \frac{1}{2m} \sum_{i,j} \left[A_{ij} - \frac{k_i k_j}{2m} \right] \delta(c_i, c_j)$$

où $k_i = \sum_j A_{ij}$, c_i est la communauté assignée au sommet i et $m = \frac{1}{2} \sum_{i,j} A_{ij}$.

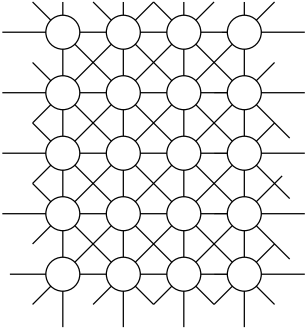
Le modèle de Schelling

Essayer de modéliser le “*qui se ressemble, s’assemble*”
Une règle “locale” a des influences “globales”...

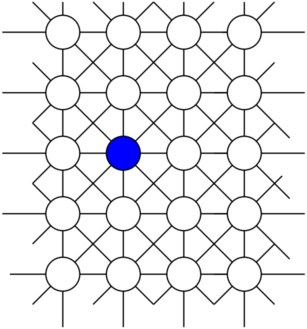
- liens dans un réseau social
- au sein d’une école, liens forts au sein d’une classe
- apparition de quartiers dans des métropoles

Thomas Schelling, Dynamic models of segregation, J. of Math. Sociology (1972).

Le modèle de Schelling

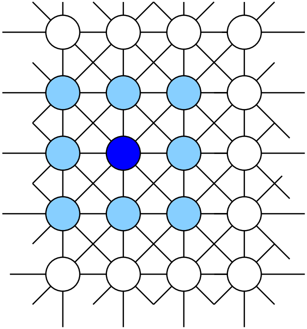


Le modèle de Schelling



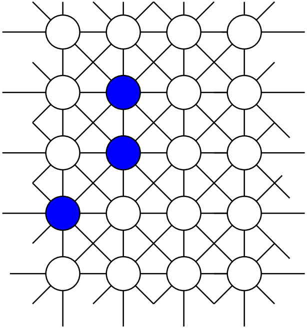
chaque “habitant”

Le modèle de Schelling



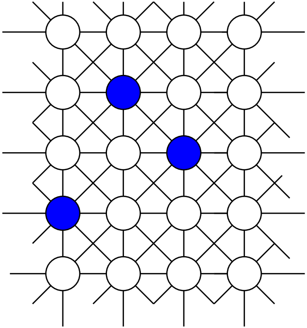
chaque “habitant” a des voisins

Le modèle de Schelling



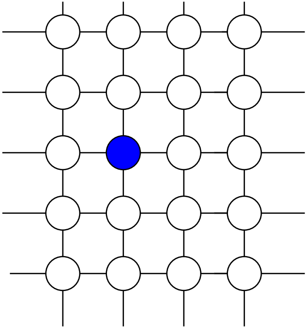
y-a-t-il suffisamment de semblables ? (par ex. ≥ 4)

Le modèle de Schelling



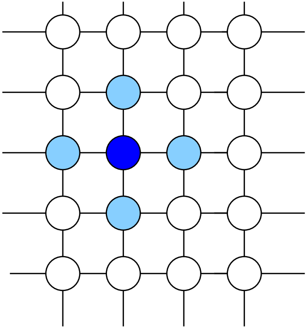
sinon, il se déplace sur une case vide (au plus proche)

Le modèle de Schelling



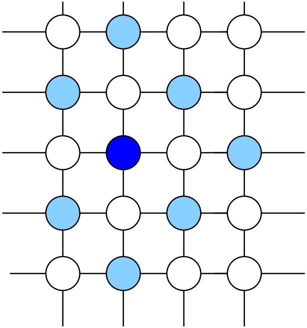
distance de Manhattan 0

Le modèle de Schelling



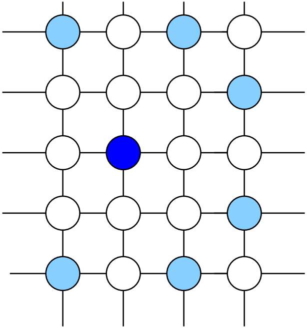
distance de Manhattan 1

Le modèle de Schelling



distance de Manhattan 2

Le modèle de Schelling



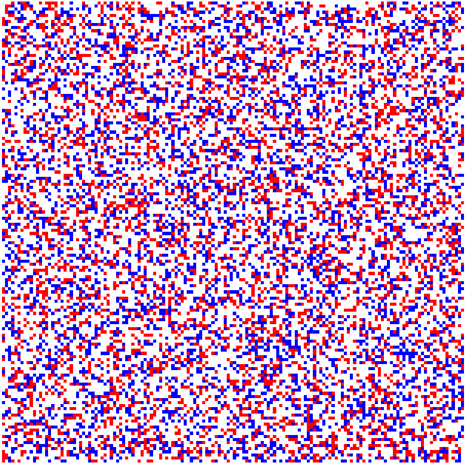
distance de Manhattan 3

Le modèle de Schelling

```
step := Module[{seuil = 4, x, y, r, z, s},
  For[x = 1, x ≤ dim,
   For[y = 1, y ≤ dim,
    r = 1;
    (* si une cellule non vide n'a pas assez de voisins du même type *)
    If[t[[x, y]] > 0 && count[x, y, t[[x, y]]] < seuil,
      (* trouver une cellule vide dans un voisinage proche *)
      z = findZero[x, y, r];
      While[Length[z] == 0, r++; z = findZero[x, y, r];];
      (* s'y déplacer *)
      s = RandomInteger[{1, Length[z]}];
      t[[z[[s, 1]], z[[s, 2]]]] = t[[x, y]];
      t[[x, y]] = 0;
     ]
     y++;];
   x++;]]
```

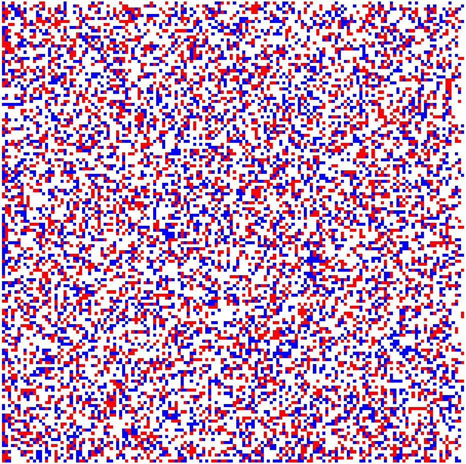
http://web.mit.edu/rajsingh/www/lab/alife/schelling.html

Le modèle de Schelling



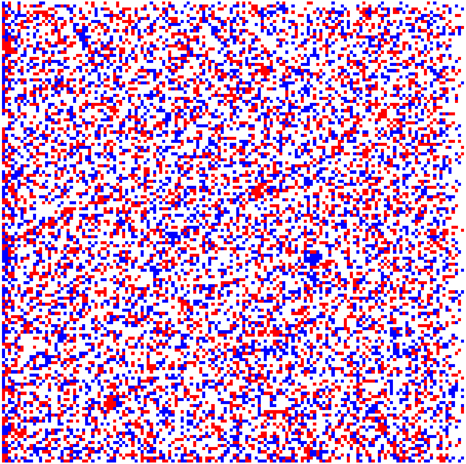
pas de 4 itérations

Le modèle de Schelling



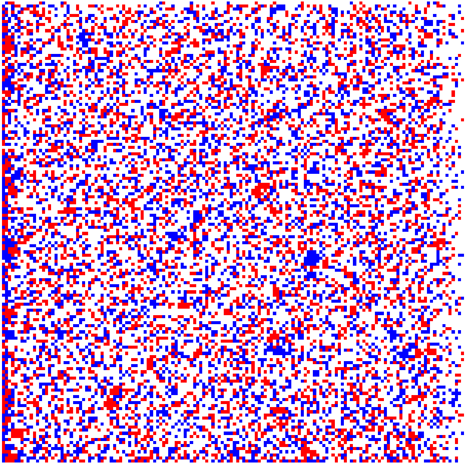
pas de 4 itérations

Le modèle de Schelling



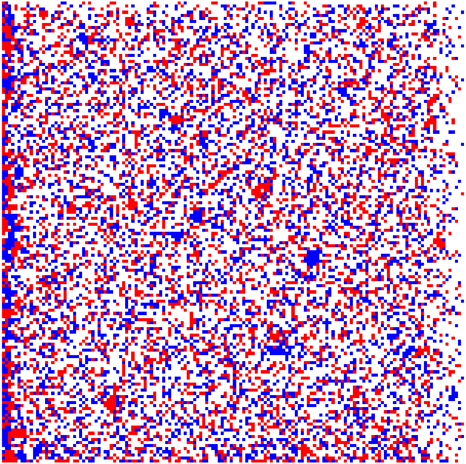
pas de 4 itérations

Le modèle de Schelling



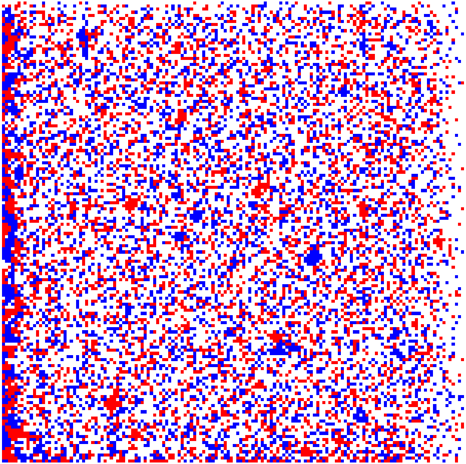
pas de 4 itérations

Le modèle de Schelling



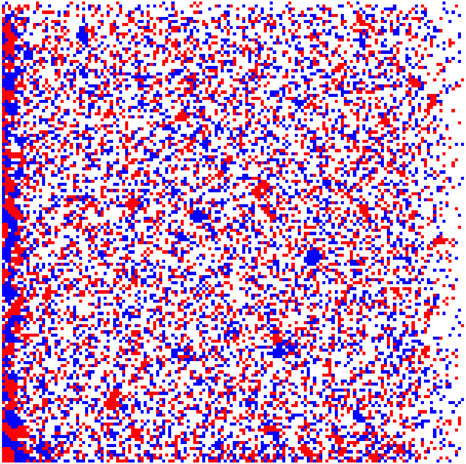
pas de 4 itérations

Le modèle de Schelling



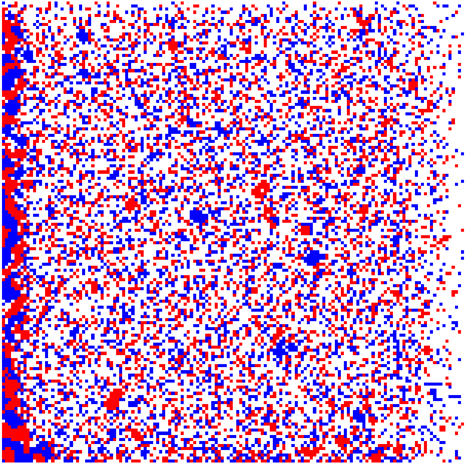
pas de 4 itérations

Le modèle de Schelling



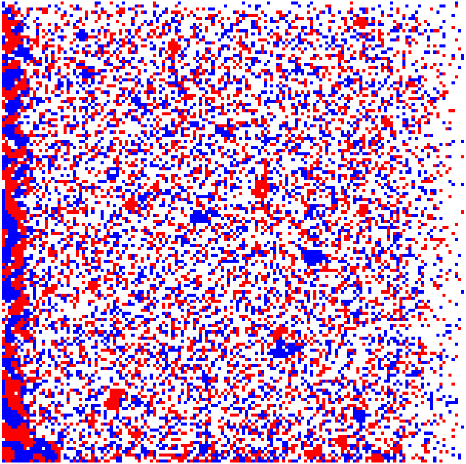
pas de 4 itérations

Le modèle de Schelling



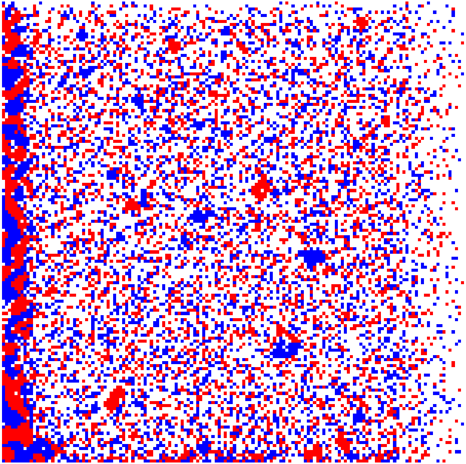
pas de 4 itérations

Le modèle de Schelling



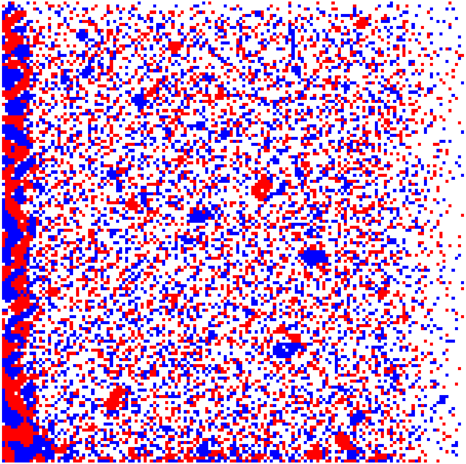
pas de 4 itérations

Le modèle de Schelling



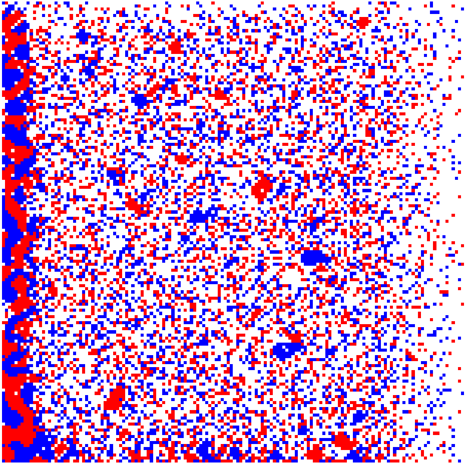
pas de 4 itérations

Le modèle de Schelling

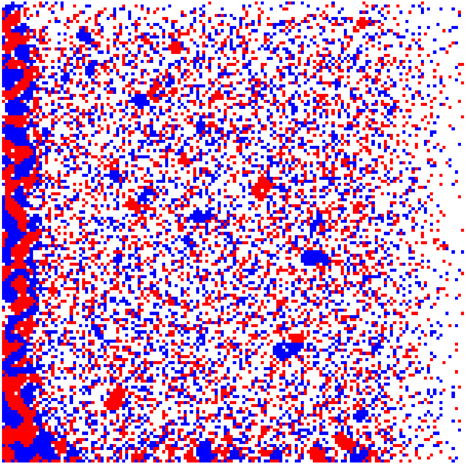


pas de 4 itérations

Le modèle de Schelling

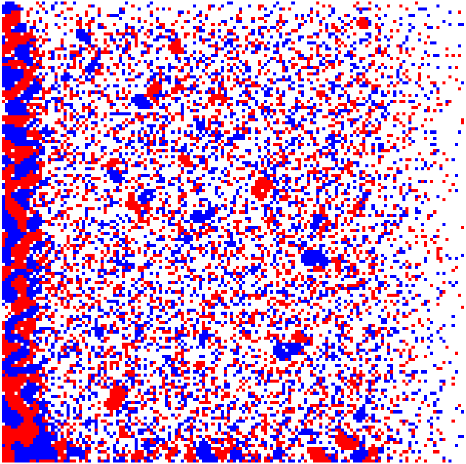


pas de 4 itérations



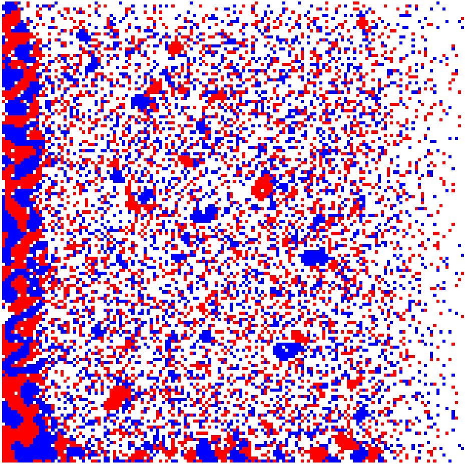
pas de 4 itérations

Le modèle de Schelling



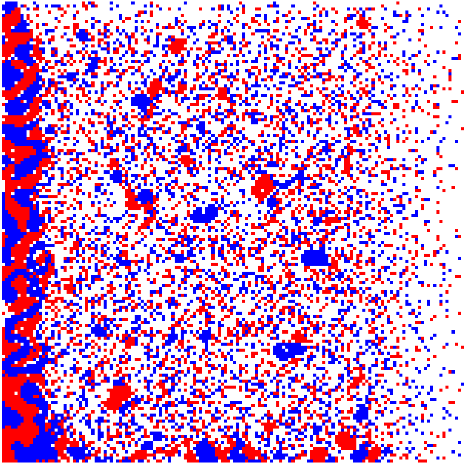
pas de 4 itérations

Le modèle de Schelling



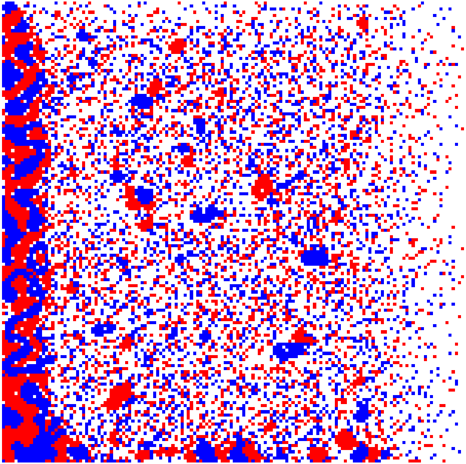
pas de 4 itérations

Le modèle de Schelling



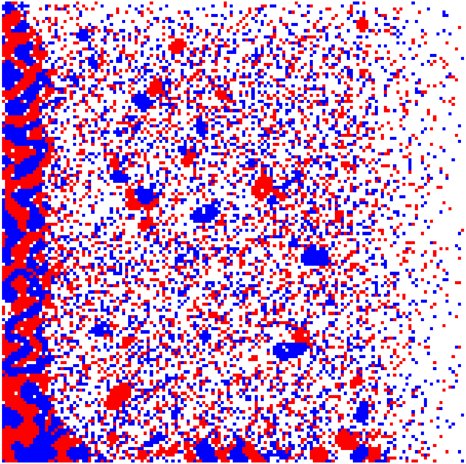
pas de 4 itérations

Le modèle de Schelling



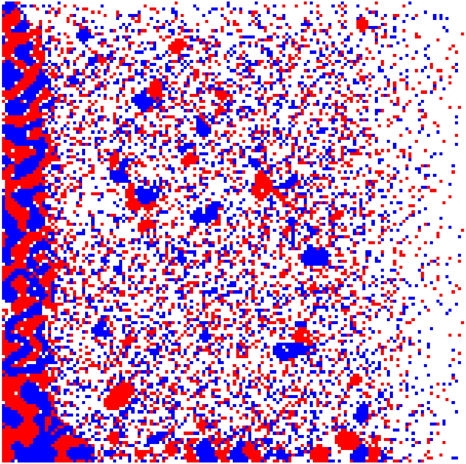
pas de 4 itérations

Le modèle de Schelling



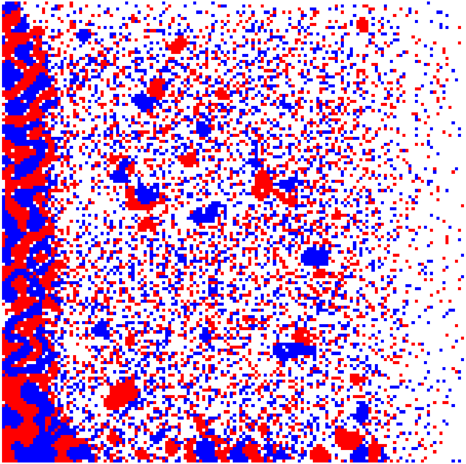
pas de 4 itérations

Le modèle de Schelling



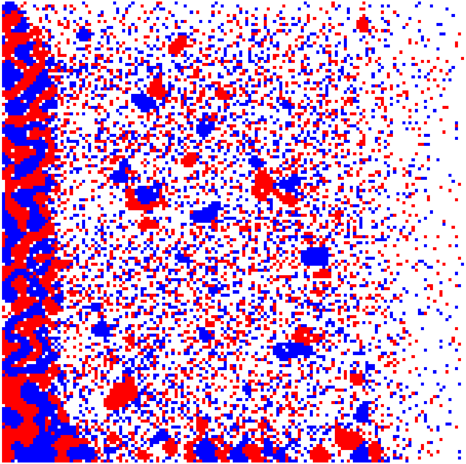
pas de 4 itérations

Le modèle de Schelling

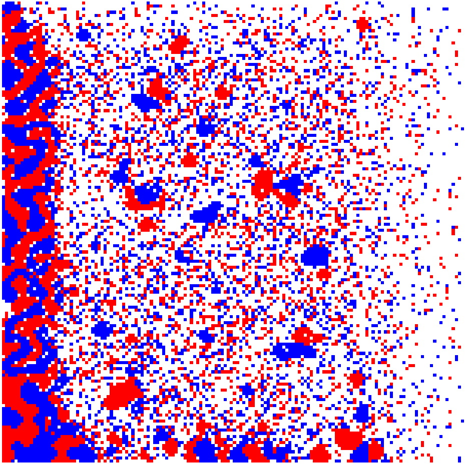


pas de 4 itérations

Le modèle de Schelling

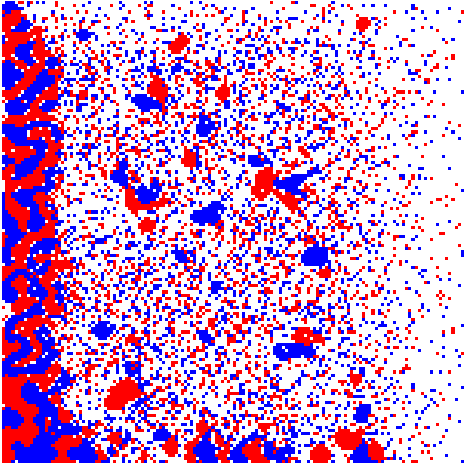


pas de 4 itérations



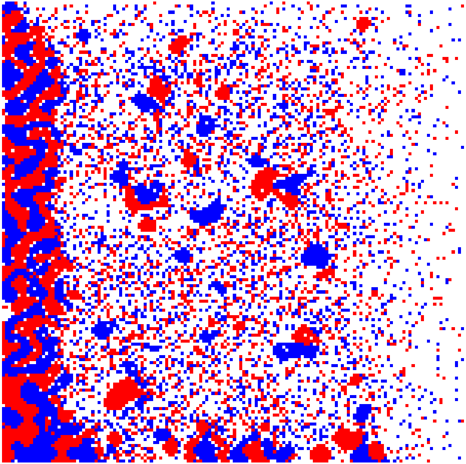
pas de 4 itérations

Le modèle de Schelling



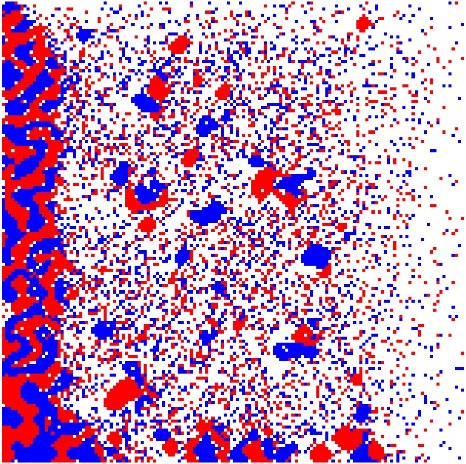
pas de 4 itérations

Le modèle de Schelling



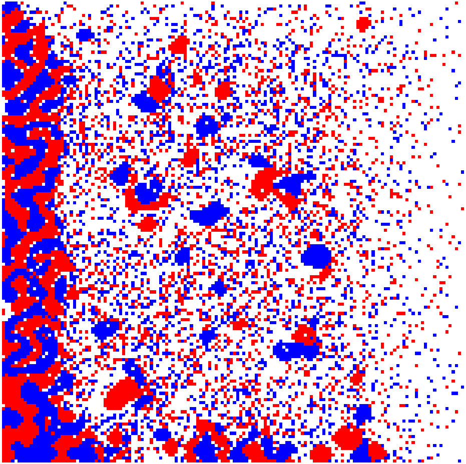
pas de 4 itérations

Le modèle de Schelling



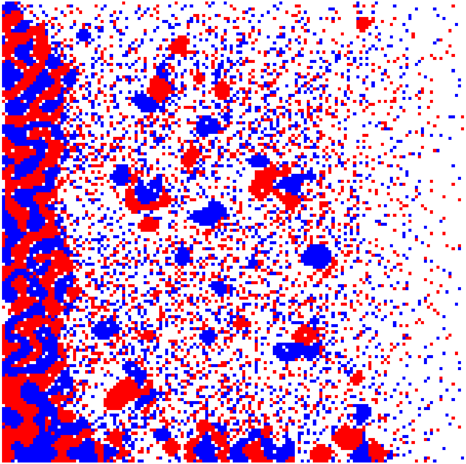
pas de 4 itérations

Le modèle de Schelling



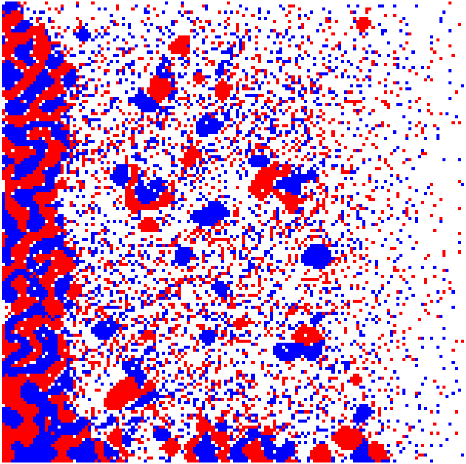
pas de 4 itérations

Le modèle de Schelling



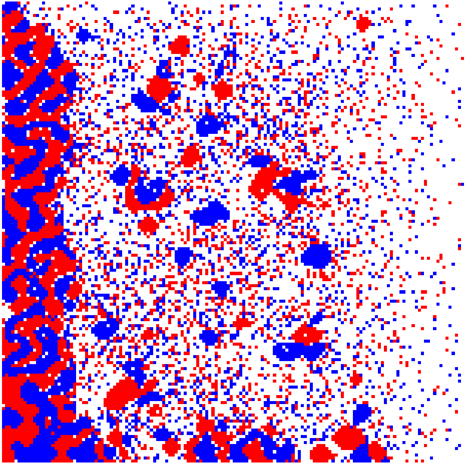
pas de 4 itérations

Le modèle de Schelling



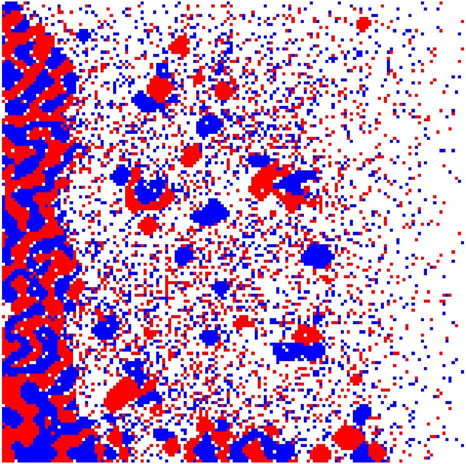
pas de 4 itérations

Le modèle de Schelling



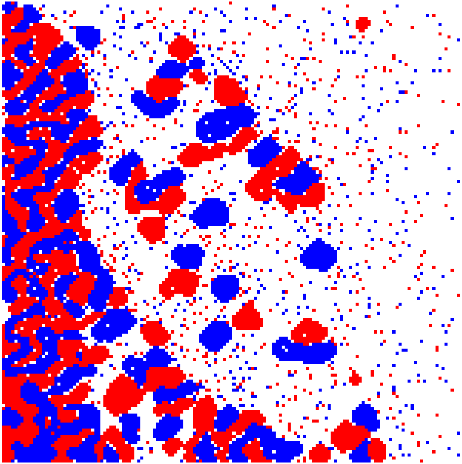
pas de 4 itérations

Le modèle de Schelling



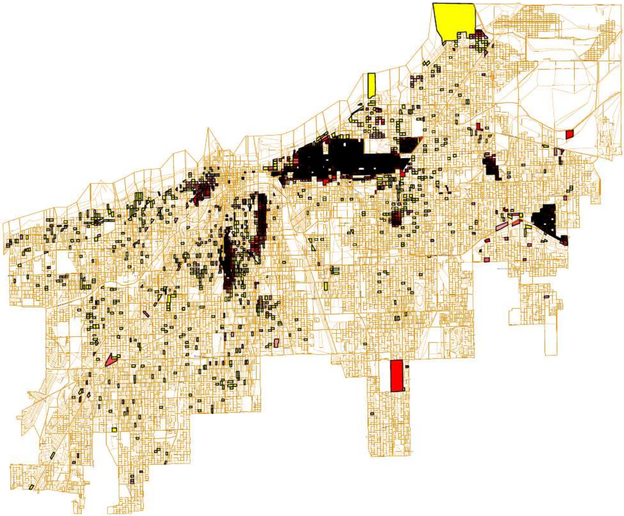
pas de 4 itérations

Le modèle de Schelling



après 320 itérations

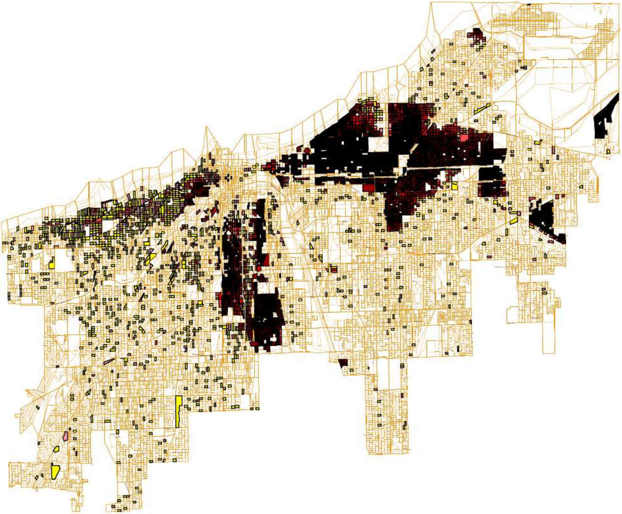
Le modèle de Schelling



pourcentage d'Afro-Américains par quartier à Chicago en 1940

Markus M. Möbius, Tanya S. Rosenblat, The Process of Ghetto Formation: Evidence from Chicago

Le modèle de Schelling



pourcentage d'Afro-Américains par quartier à Chicago en 1960

Markus M. Möbius, Tanya S. Rosenblat, The Process of Ghetto Formation: Evidence from Chicago

Le modèle de Schelling

- Simulations, observations qualitatives
- L'analyse du modèle est difficile (problèmes ouverts)
- Analogie avec la physique (mélange de deux liquides)

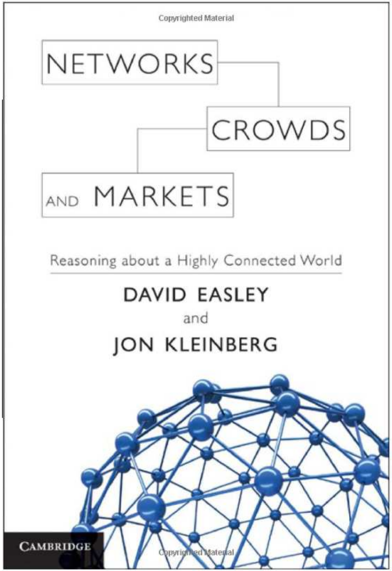
En guise de conclusion

Amasser un grand nombre de données

- donner une vue d'ensemble de problèmes complexes : santé, embouteillages, comportements sociaux, ...
- comment ces données sont-elles exploitées par les entreprises ?

Wearable devices, appareils “mettables”

Pour aller plus loin



Jon Kleinberg, Prix Nevanlinna (ICM 2006 – Aspects mathématiques des sciences de l'information)