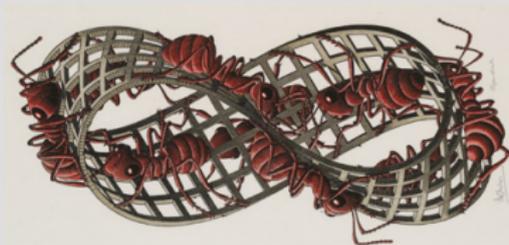


Les Fourmis sont elles plus Intelligentes que les Informaticiens ?



Damien Olivier

7 Février 2007



Plan



Un peu de science !

COMBAT ENTRE UNE FOURMI ET UN INFORMATICIEN



Un peu de science !

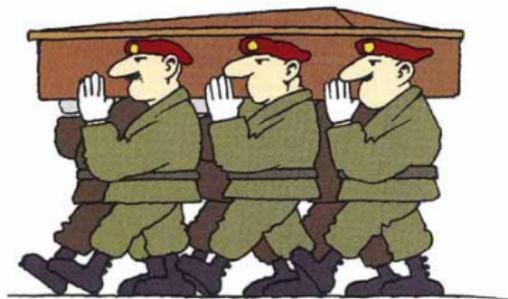
COMBAT ENTRE UNE FOURMI ET UN INFORMATICIEN En 3 rounds



Un peu de science !

COMBAT ENTRE UNE FOURMI ET UN INFORMATICIEN

LA FOURMI A 6 PATTES
L'ARAIGNÉE A 8 PATTES
LES MORTS CÉLÈBRES EN ONT 12...



On pourra faire appel à d'autres adversaires en cas de K.O. prématuré

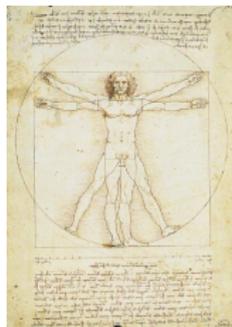
Un combat inégal ! et pourtant



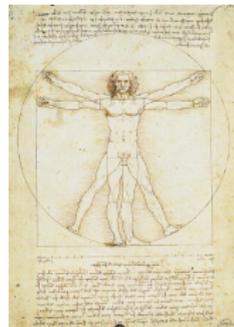
Un combat inégal ! et pourtant



Un combat inégal ! et pourtant



Un combat inégal ! et pourtant



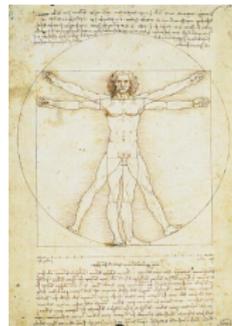
Apparition : 100 millions d'années



Un combat inégal ! et pourtant



Apparition : 100 millions d'années



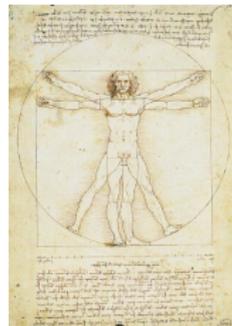
160 000 ans Homo sapiens
50-60 ans Homo informaticus ...



Un combat inégal ! et pourtant



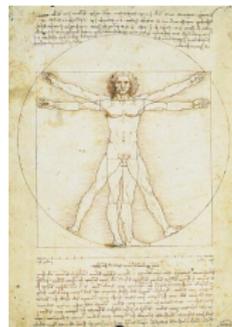
Taille : 1 mm à 3 cm



Un combat inégal ! et pourtant



Taille : 1 mm à 3 cm



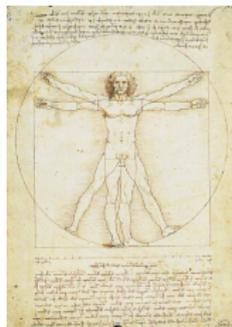
1m 85



Un combat inégal ! et pourtant



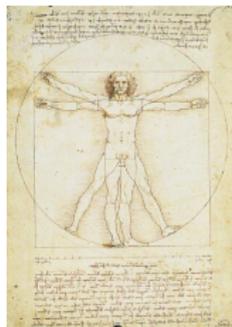
Poids : un millionième de notre poids



Un combat inégal ! et pourtant



Poids : un millionième de notre poids



80 kg !

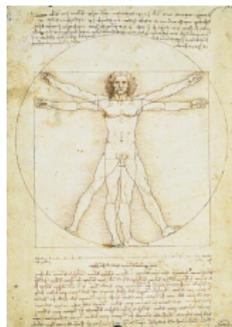


Un combat inégal ! et pourtant



Nombre d'individus : 1% des 10^{18} d'insectes

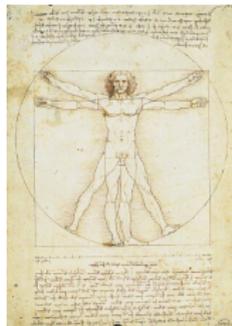
10 millions de milliards d'individus



Un combat inégal ! et pourtant



Nombre d'individus : 1% des 10^{18} d'insectes
10 millions de milliards d'individus



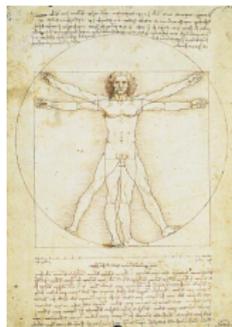
10×10^9 vers 2050



Un combat inégal ! et pourtant



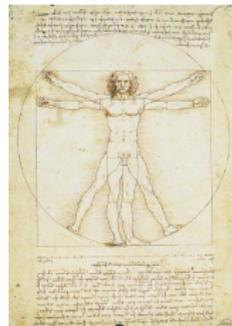
Masse totale : voisine de celle de l'humanité



Un combat inégal ! et pourtant



Masse totale : voisine de celle de l'humanité



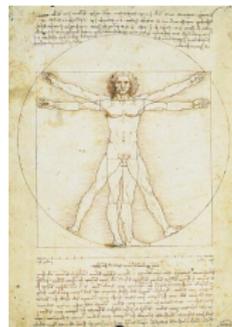
Voisine de celle des fourmis



Un combat inégal ! et pourtant



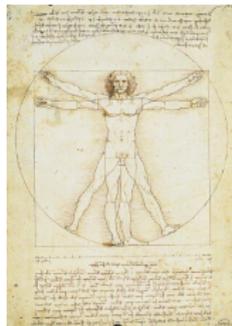
Animal (eu)social



Un combat inégal ! et pourtant



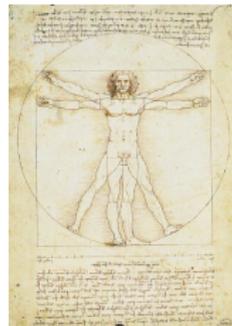
Animal (eu)social



Animal social



Un combat inégal ! et pourtant



Question Amusante

Quel est l'organisme social dominant à la surface du sol ?

11

La fourmi un animal eusocial

- **Coopération dans le soin aux jeunes ;**
- Les descendants aident leurs parents ;
- Il existe des individus spécialisés - reproduction - tâches communautaires -



La fourmi un animal eusocial

- Coopération dans le soin aux jeunes ;
- Les descendants aident leurs parents ;
- Il existe des individus spécialisés - reproduction - tâches communautaires -



La fourmi un animal eusocial

- Coopération dans le soin aux jeunes ;
- Les descendants aident leurs parents ;
- Il existe des individus spécialisés - reproduction - tâches communautaires -



Paradoxe de l'eusociabilité

- Seule une minorité se reproduit ;
- Les autres sont altruistes et aident les reproducteurs ;
- Ils renoncent donc (semble t-il) à transmettre leurs gènes !

Bien du groupe \neq Sélection naturelle

Cela semble aller à l'encontre de la sélection naturelle, en particulier la transmission du comportement altruiste devrait disparaître !



Paradoxe de l'eusociabilité

- Seule une minorité se reproduit ;
- Les autres sont altruistes et aident les reproducteurs ;
- Ils renoncent donc (semble t-il) à transmettre leurs gènes !

Bien du groupe \neq Sélection naturelle

Cela semble aller à l'encontre de la sélection naturelle, en particulier la transmission du comportement altruiste devrait disparaître !



Paradoxe de l'eusociabilité

- Seule une minorité se reproduit ;
- Les autres sont altruistes et aident les reproducteurs ;
- Ils renoncent donc (semble t-il) à transmettre leurs gènes !

Bien du groupe \neq Sélection naturelle

Cela semble aller à l'encontre de la sélection naturelle, en particulier la transmission du comportement altruiste devrait disparaître !



Paradoxe de l'eusociabilité

- Seule une minorité se reproduit ;
- Les autres sont altruistes et aident les reproducteurs ;
- Ils renoncent donc (semble t-il) à transmettre leurs gènes !

Bien du groupe \neq Sélection naturelle

Cela semble aller à l'encontre de la sélection naturelle, en particulier la transmission du comportement altruiste devrait disparaître !



L'eusociabilité (partiellement) expliquée

- Les femelles sont diploïdes (un double jeu de chromosomes) ;
- Les mâles sont haploïdes (un seul jeu de chromosomes) ;
 - Ils proviennent d'oeufs non fécondés ;

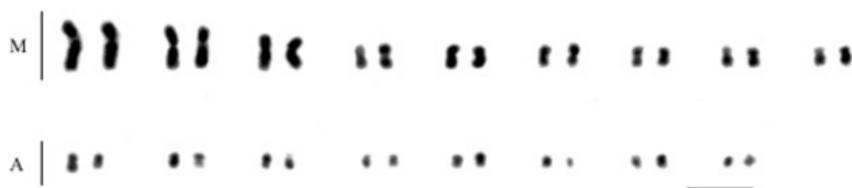


Figura 2. Cariótipo diploide de *C. brasiliensis*. Barra = 5µm



L'eusociabilité (partiellement) expliquée

- Les femelles sont diploïdes (un double jeu de chromosomes) ;
- Les mâles sont haploïdes (un seul jeu de chromosomes) ;
 - Ils proviennent d'oeufs non fécondés ;

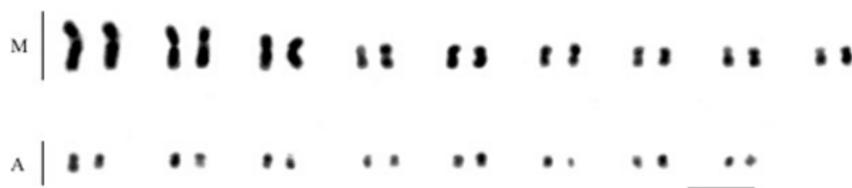
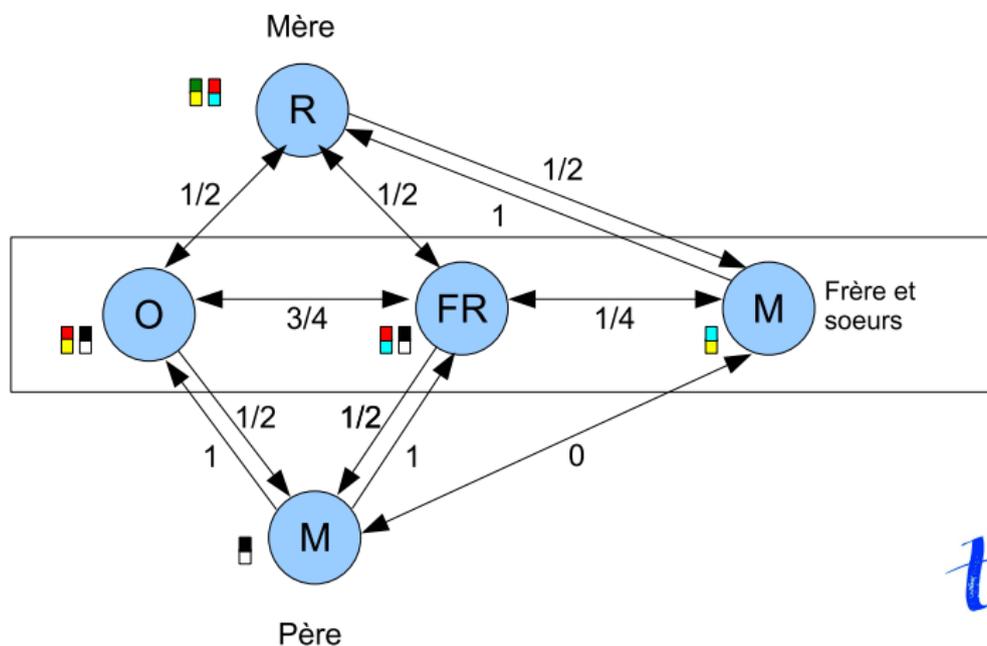


Figura 2. Cariótipo diploide de *C. brasiliensis*. Barra = 5µm



L'eusociabilité (partiellement) expliquée

Une explication la *proximité génétique* :



Communications

Quatre formes de communication :

- Sonore ;
- Tactile ;
- Visuelle ;
- Chimique.



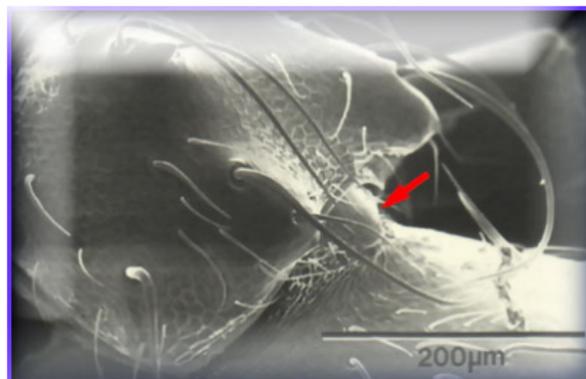
Communications sonores

- Avec organes stridulatoires
 - Au secours !
 - Le resto est bon !
 - Venez m'aider.
- Sans organes stridulatoires
 - Se tape la tête contre les murs.



Communications sonores

- Avec organes stridulatoires
 - Au secours !
 - Le resto est bon !
 - Venez m'aider.
- Sans organes stridulatoires
 - Se tape la tête contre les murs.



Organe de stridulation



Communications sonores

- Avec organes stridulateurs
 - Au secours !
 - Le resto est bon !
 - Venez m'aider.
- Sans organes stridulateurs
 - Se tape la tête contre les murs.



Communications sonores

- Avec organes stridulatoires
 - Au secours !
 - Le resto est bon !
 - Venez m'aider.
- Sans organes stridulatoires
 - Se tape la tête contre les murs.



Aphenogaster croondant



Communications sonores

- Avec organes stridulateurs
 - Au secours !
 - Le resto est bon !
 - Venez m'aider.
- Sans organes stridulateurs
 - Se tape la tête contre les murs.



Communications sonores

- Avec organes stridulatoires
 - Au secours !
 - Le resto est bon !
 - Venez m'aider.
- Sans organes stridulatoires
 - Se tape la tête contre les murs.



Communications tactiles

- Antennation ;
- Grâce aux pattes (régurgitation).



2 fourmis communiquant à l'aide des antennes



Attouchement d'antennes



Communication visuelle

- Première forme de communication progressivement abandonnée au cours de l'évolution ;
- Les fourmis entament une danse pour recruter souvent combinée avec de la communication tactile ;
- Certaines fourmis retrouvent leur chemin de façon visuelle



Danse de recrutement



Communication visuelle

- Première forme de communication progressivement abandonnée au cours de l'évolution ;
- Les fourmis entament une danse pour recruter souvent combinée avec de la communication tactile ;
- Certaines fourmis retrouvent leur chemin de façon visuelle
 - Un labyrinthe formé de boîtes dans chaque boîte 2 issues au dessus de chaque issue une forme géométrique. Une seule issue conduit à la boîte suivante.



Danse de recrutement



Communications chimiques

- La forme de communication la plus sophistiquée ;
- Utilisation de phéromones ;
- Les odeurs sont captées par les antennes ;
- Phéromone = carte d'identité ;
- Les phéromones servent à :
 - L'attraction ;
 - Le recrutement ;
 - L'alerte ;
 - L'identification des autres castes ;
 - La reconnaissance des différents stades de développement ;
 - La discrimination entre fourmis étrangères et congénères



Communications chimiques

- La forme de communication la plus sophistiquée ;
- Utilisation de phéromones ;
- Les odeurs sont captées par les antennes ;
- Phéromone = carte d'identité ;
- Les phéromones servent à :
 - L'attraction ;
 - Le recrutement ;
 - L'alerte ;
 - L'identification des autres castes ;
 - La reconnaissance des différents stades de développement ;
 - La discrimination entre fourmis étrangères et congénères



Communications chimiques

- La forme de communication la plus sophistiquée ;
- Utilisation de phéromones ;
- Les odeurs sont captées par les antennes ;
- Phéromone = carte d'identité ;
- Les phéromones servent à :
 - L'attraction ;
 - Le recrutement ;
 - L'alerte ;
 - L'identification des autres castes ;
 - La reconnaissance des différents stades de développement ;
 - La discrimination entre fourmis étrangères et congénères



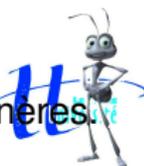
Communications chimiques

- La forme de communication la plus sophistiquée ;
- Utilisation de phéromones ;
- Les odeurs sont captées par les antennes ;
- Phéromone = carte d'identité ;
- Les phéromones servent à :
 - L'attraction ;
 - Le recrutement ;
 - L'alerte ;
 - L'identification des autres castes ;
 - La reconnaissance des différents stades de développement ;
 - La discrimination entre fourmis étrangères et congénères



Communications chimiques

- La forme de communication la plus sophistiquée ;
- Utilisation de phéromones ;
- Les odeurs sont captées par les antennes ;
- Phéromone = carte d'identité ;
- Les phéromones servent à :
 - L'attraction ;
 - Le recrutement ;
 - L'alerte ;
 - L'identification des autres castes ;
 - La reconnaissance des différents stades de développement ;
 - La discrimination entre fourmis étrangères et congénères.



Communications chimiques



Dépôt de phéromones



Communications chimiques



Piste de phéromones



Communications chimiques



Recrutement



Communications chimiques



Des comportements variés

- Pratique :
 - La guerre à outrance ;
 - L'esclavage ;
 - L'agriculture ;
 - ...
- Fabriquent :
 - Des édifices collectifs ;
 - Des pièges ;
 - Des antibiotiques ;

Les grands mots

⇒ Intelligence Collective

Des comportements variés

- Pratiquent :
 - La guerre à outrance ;
 - L'esclavage ;
 - L'agriculture ;
 - ...
- Fabriquent :
 - Des édifices collectifs ;
 - Des pièges ;
 - Des antibiotiques ;



Position de combat

Les grands mots

⇒ Intelligence Collective

Des comportements variés

- Pratiquent :
 - La guerre à outrance ;
 - L'esclavage ;
 - L'agriculture ;
 - ...
- Fabriquent :
 - Des édifices collectifs ;
 - Des pièges ;
 - Des antibiotiques ;



Duel de fourmis



Les grands mots

⇒ Intelligence Collective

Des comportements variés

- Pratiqueur :
 - La guerre à outrance ;
 - L'esclavage ;
 - L'agriculture ;
 - ...
- Fabriquant :
 - Des édifices collectifs ;
 - Des pièges ;
 - Des antibiotiques ;



Le meurtre a eu lieu



Les grands mots

⇒ Intelligence Collective

Des comportements variés

- Pratique :
 - La guerre à outrance ;
 - L'esclavage ;
 - L'agriculture ;
 - ...
- Fabriquent :
 - Des édifices collectifs ;
 - Des pièges ;
 - Des antibiotiques ;



Récolte de miela

Les grands mots

⇒ Intelligence Collective

Des comportements variés

- Pratiquent :
 - La guerre à outrance ;
 - L'esclavage ;
 - L'agriculture ;
 - ...
- Fabriquent :
 - Des édifices collectifs ;
 - Des pièges ;
 - Des antibiotiques ;



Atta coupeuse de feuilles

Les grands mots

⇒ Intelligence Collective

Des comportements variés

- Pratiquent :
 - La guerre à outrance ;
 - L'esclavage ;
 - L'agriculture ;
 - ...
- Fabriquent :
 - Des édifices collectifs ;
 - Des pièges ;
 - Des antibiotiques ;



Les grands mots

⇒ Intelligence Collective

Des comportements variés

- Pratique :
 - La guerre à outrance ;
 - L'esclavage ;
 - L'agriculture ;
 - ...
- Fabriquent :
 - Des édifices collectifs ;
 - Des pièges ;
 - Des antibiotiques ;



Champignonnière

Les grands mots

⇒ Intelligence Collective

Des comportements variés

- Pratiquent :
 - La guerre à outrance ;
 - L'esclavage ;
 - L'agriculture ;
 - ...
- Fabriquent :
 - Des édifices collectifs ;
 - Des pièges ;
 - Des antibiotiques ;

Les grands mots

⇒ Intelligence Collective

Des comportements variés

- Pratiquent :
 - La guerre à outrance ;
 - L'esclavage ;
 - L'agriculture ;
 - ...
- Fabriquent :
 - Des édifices collectifs ;
 - Des pièges ;
 - Des antibiotiques ;



Fourmilière

Les grands mots

⇒ Intelligence Collective

Des comportements variés

- Pratiquent :
 - La guerre à outrance ;
 - L'esclavage ;
 - L'agriculture ;
 - ...
- Fabriquent :
 - Des édifices collectifs ;
 - Des pièges ;
 - Des antibiotiques ;



Sauterelle piégée



Les grands mots

⇒ Intelligence Collective

Des comportements variés

- Pratiquent :
 - La guerre à outrance ;
 - L'esclavage ;
 - L'agriculture ;
 - ...
- Fabriquent :
 - Des édifices collectifs ;
 - Des pièges ;
 - Des antibiotiques ;

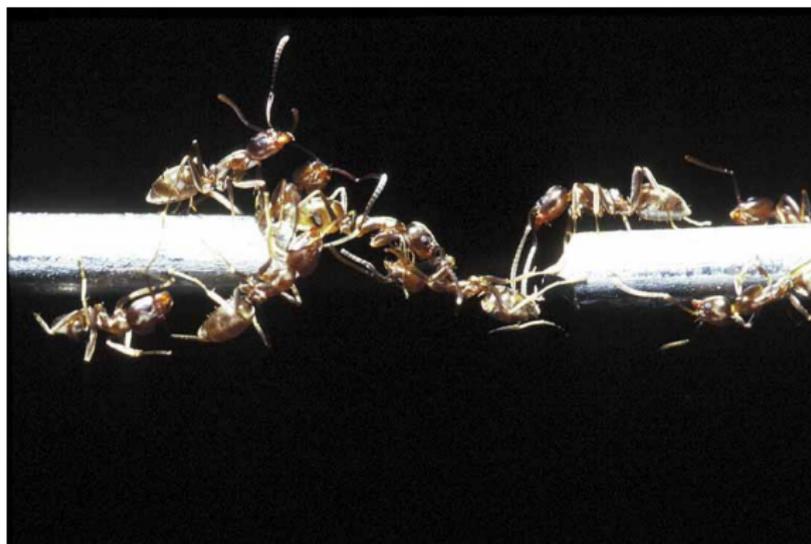


"Culture" d'antibiotique

Les grands mots

⇒ Intelligence Collective

Des comportements variés



Comportement collectif

Les grands mots

⇒ Intelligence Collective



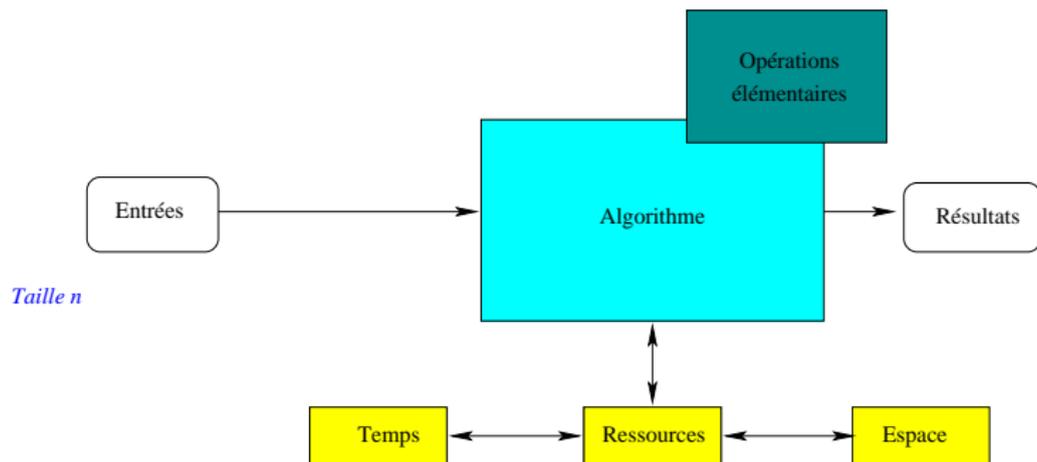
Un comportement bizarre



Ça fait quoi alors ?

Cherchent des algorithmes pour résoudre des problèmes.

Évaluation d'un algorithme



Complexité temporelle

Si une instruction = 10^{-6} s ie 1μ s

complexité	Taille de n					
	10	20	30	40	50	60
n	0,00001s	0,00002s	0,00003s	0,00004s	0,00005s	0,00006s
n ²	0,0001s	0,0004s	0,0009s	0,0016s	0,0025s	0,0036s
n ³	0,001s	0,008 s	0,027s	0,064s	0,125s	0,216s
n ⁵	1s	3,2s	24,3s	1,7mn	5,2mn	13,0mn
2 ⁿ	0,001s	1,0s	17,9mn	12,7jours	35,7 années	366 siècles
3 ⁿ	0,059s	58mn	6,5 années	3855 siècles	2.10 ⁸ siècles	1,3.10 ¹³ siècles



Quelques repères

Avt Big Bang	Univers	Terre	Vertébrés	Primates F. dinosaures	Habilis	Sapiens	1 vie	1 jour	Complexité
	13,7	5	0,5 500	50	5	0,5	$8 \cdot 10^{-5}$	$2,19 \cdot 10^{-7}$	10^9 ans 10^6 ans
	$4,3 \cdot 10^{23}$ $657 \cdot 10^9$	$1,5 \cdot 10^{23}$ $397 \cdot 10^9$	$1,57 \cdot 10^{22}$ $125 \cdot 10^9$	$1,57 \cdot 10^{21}$ $39,7 \cdot 10^9$	$1,57 \cdot 10^{20}$ $12,5 \cdot 10^9$	$1,57 \cdot 10^{19}$ $3,97 \cdot 10^9$	$2,52 \cdot 10^{15}$ $50,2 \cdot 10^6$	$8,64 \cdot 10^{10}$ 293 938	n n^2
53347	53346	43606	27514	17360	10953	6911	1203	153	n^5
79	78	77	73	70	67	63	51	36	2^n
50	49	48	46	44	42	40	32	22	3^n

Une éventuelle solution ?

Utilisation d'heuristiques



Quelques repères

Avt Big Bang	Univers	Terre	Vertébrés	Primates F. dinosaures	Habilis	Sapiens	1 vie	1 jour	Complexité
	13,7	5	0,5 500	50	5	0,5	$8 \cdot 10^{-5}$	$2,19 \cdot 10^{-7}$	10^9 ans 10^6 ans
	$4,3 \cdot 10^{23}$	$1,5 \cdot 10^{23}$	$1,57 \cdot 10^{22}$	$1,57 \cdot 10^{21}$	$1,57 \cdot 10^{20}$	$1,57 \cdot 10^{19}$	$2,52 \cdot 10^{15}$	$8,64 \cdot 10^{10}$	n
	$657 \cdot 10^9$	$397 \cdot 10^9$	$125 \cdot 10^9$	$39,7 \cdot 10^9$	$12,5 \cdot 10^9$	$3,97 \cdot 10^9$	$50,2 \cdot 10^6$	293 938	n^2
53347	53346	43606	27514	17360	10953	6911	1203	153	n^5
79	78	77	73	70	67	63	51	36	2^n
50	49	48	46	44	42	40	32	22	3^n

Une éventuelle solution ?

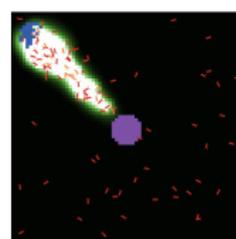
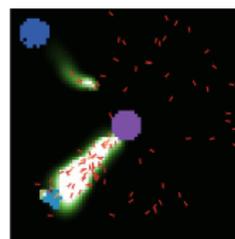
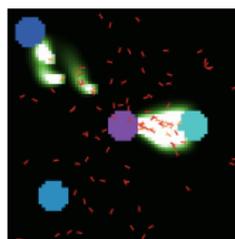
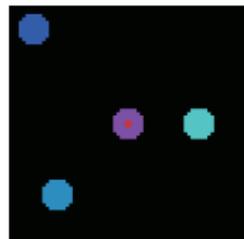
Utilisation d'heuristiques



Des fourmis numériques

Recherche de nourriture

- Un **grand nombre** de fourmis se déplacent, plus ou moins au **hasard** ;
- Elles déposent des **phéromones** ;
- Si elles découvrent une source elles retournent au nid en **déposant une trace** ;
- Cette trace **attire** les autres fourmis.



Que nous apprennent elles ?

- **Communications indirectes** par l'intermédiaire de l'environnement ;
- **Stigmergie** - stigma : piqûre, ergon : travail, œuvre = œuvre stimulante - ;
- **Interactions multiples** ;
- **Rétroaction positive** : L'environnement agit sur la fourmi qui suit la trace de phéromone et rétroagit sur celui en renforçant la trace ;
- **Rétroaction négative** : Les traces de phéromones s'évaporent assez rapidement, une fois que la nourriture sera épuisée, de moins en moins de fourmis auront tendance à suivre la trace qui va finir par disparaître ;
- **Amplifications des fluctuations** : , la fluctuation engendrée par la fourmi quittant la piste et découvrant une ressource riche est amplifiée par la boucle de rétroaction positive qui se met ensuite en place.

▶ applet



Que nous apprennent elles ?

- **Communications indirectes** par l'intermédiaire de l'environnement ;
- **Stigmergie** - stigma : piqûre, ergon : travail, œuvre = œuvre stimulante - ;
- **Interactions multiples** ;
- **Rétroaction positive** : L'environnement agit sur la fourmi qui suit la trace de phéromone et rétroagit sur celui en renforçant la trace ;
- **Rétroaction négative** : Les traces de phéromones s'évaporent assez rapidement, une fois que la nourriture sera épuisée, de moins en moins de fourmis auront tendance à suivre la trace qui va finir par disparaître ;
- **Amplifications des fluctuations** : , la fluctuation engendrée par la fourmi quittant la piste et découvrant une ressource riche est amplifiée par la boucle de rétroaction positive qui se met ensuite en place.

▶ applet



Que nous apprennent elles ?

- **Communications indirectes** par l'intermédiaire de l'environnement ;
- **Stigmergie** - stigma : piqûre, ergon : travail, œuvre = œuvre stimulante - ;
- **Interactions multiples** ;
- **Rétroaction positive** : L'environnement agit sur la fourmi qui suit la trace de phéromone et rétroagit sur celui en renforçant la trace ;
- **Rétroaction négative** : Les traces de phéromones s'évaporent assez rapidement, une fois que la nourriture sera épuisée, de moins en moins de fourmis auront tendance à suivre la trace qui va finir par disparaître ;
- **Amplifications des fluctuations** : , la fluctuation engendrée par la fourmi quittant la piste et découvrant une ressource riche est amplifiée par la boucle de rétroaction positive qui se met ensuite en place.

▶ applet



Que nous apprennent elles ?

- **Communications indirectes** par l'intermédiaire de l'environnement ;
- **Stigmergie** - stigma : piqûre, ergon : travail, œuvre = œuvre stimulante - ;
- **Interactions multiples** ;
- **Rétroaction positive** : L'environnement agit sur la fourmi qui suit la trace de phéromone et rétroagit sur celui en renforçant la trace ;
- **Rétroaction négative** : Les traces de phéromones s'évaporent assez rapidement, une fois que la nourriture sera épuisée, de moins en moins de fourmis auront tendance à suivre la trace qui va finir par disparaître ;
- **Amplifications des fluctuations** : , la fluctuation engendrée par la fourmi quittant la piste et découvrant une ressource riche est amplifiée par la boucle de rétroaction positive qui se met ensuite en place.

▶ applet



Que nous apprennent elles ?

- **Communications indirectes** par l'intermédiaire de l'environnement ;
- **Stigmergie** - stigma : piqûre, ergon : travail, œuvre = œuvre stimulante - ;
- **Interactions multiples** ;
- **Rétroaction positive** : L'environnement agit sur la fourmi qui suit la trace de phéromone et rétroagit sur celui en renforçant la trace ;
- **Rétroaction négative** : Les traces de phéromones s'évaporent assez rapidement, une fois que la nourriture sera épuisée, de moins en moins de fourmis auront tendance à suivre la trace qui va finir par disparaître ;
- **Amplifications des fluctuations** : , la fluctuation engendrée par la fourmi quittant la piste et découvrant une ressource riche est amplifiée par la boucle de rétroaction positive qui se met ensuite en place.

▶ applet



Que nous apprennent elles ?

- **Communications indirectes** par l'intermédiaire de l'environnement ;
- **Stigmergie** - stigma : piqûre, ergon : travail, œuvre = œuvre stimulante - ;
- **Interactions multiples** ;
- **Rétroaction positive** : L'environnement agit sur la fourmi qui suit la trace de phéromone et rétroagit sur celui en renforçant la trace ;
- **Rétroaction négative** : Les traces de phéromones s'évaporent assez rapidement, une fois que la nourriture sera épuisée, de moins en moins de fourmis auront tendance à suivre la trace qui va finir par disparaître ;
- **Amplifications des fluctuations** : , la fluctuation engendrée par la fourmi quittant la piste et découvrant une ressource riche est amplifiée par la boucle de rétroaction positive qui se met ensuite en place.

▶ applet



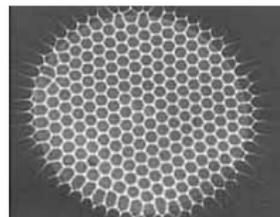
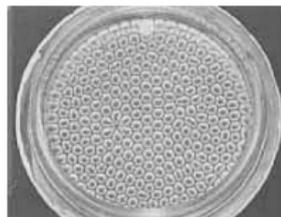
Émergence

Définition

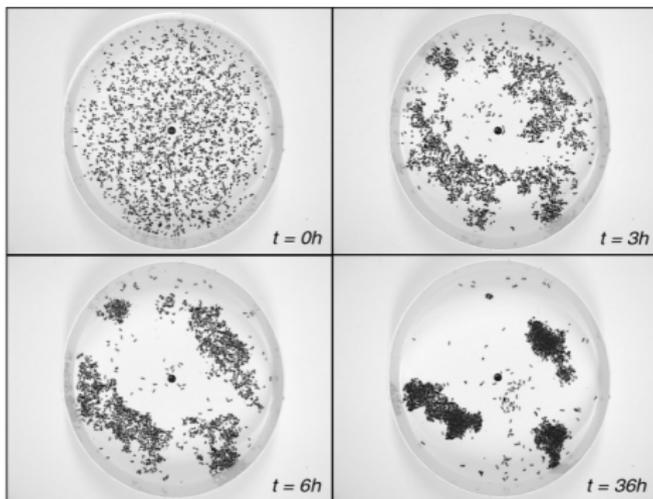
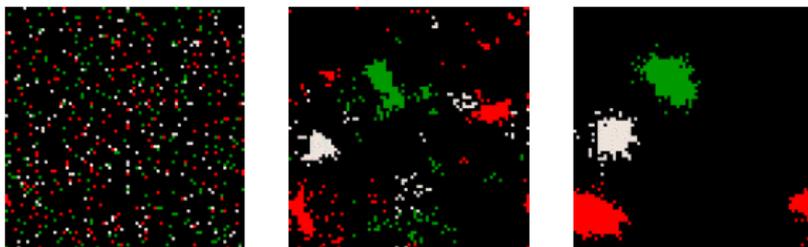
Idée : Une propriété est émergente dans un système quand elle est le résultat des interactions entre les entités du système et qu'elle ne peut pas être décrite au niveau des entités.

"Le tout est plus que la somme des parties"

Exemple : Thermodynamique (Boltzmann, Prigogine ...)



Tri du couvain



Un ennemi de l'informaticien : le voyageur de commerce

- Il s'agit de trouver le chemin le plus court entre n villes, qui passe une seule fois par chaque ville.
- Problème simple ! il n'y a qu'à analyser toutes les solutions.
- Erreur le temps de calcul croit de manière exponentielle. A partir de 30 villes cela prendrait ... plusieurs milliards d'années !
- Le nombre de possibilités (nombre de trajets possibles) est de $\frac{(n-1)!}{2}$.
- Problème NP complet.

Nbre de villes	Nbre de possibilités	temps (1 trajet = 1 μ s)
5	12	12 μ s
10	181 440	0,18 s
15	43 milliards	12 h
20	60 E+15	1928 ans
25	310 E+21	9,8.10 ⁹ ans



Un ennemi de l'informaticien : le voyageur de commerce

- Il s'agit de trouver le chemin le plus court entre n villes, qui passe une seule fois par chaque ville.
- Problème simple ! il n'y a qu'à analyser toutes les solutions.
- Erreur le temps de calcul croit de manière exponentielle. A partir de 30 villes cela prendrait ... plusieurs milliards d'années !
- Le nombre de possibilités (nombre de trajets possibles) est de $\frac{(n-1)!}{2}$.
- Problème NP complet.

Nbre de villes	Nbre de possibilités	temps (1 trajet = 1 μ s)
5	12	12 μ s
10	181 440	0,18 s
15	43 milliards	12 h
20	60 E+15	1928 ans
25	310 E+21	9,8.10 ⁹ ans



Un ennemi de l'informaticien : le voyageur de commerce

- Il s'agit de trouver le chemin le plus court entre n villes, qui passe une seule fois par chaque ville.
- Problème simple ! il n'y a qu'à analyser toutes les solutions.
- Erreur le temps de calcul croit de manière exponentielle. A partir de 30 villes cela prendrait ... plusieurs milliards d'années !
- Le nombre de possibilités (nombre de trajets possibles) est de $\frac{(n-1)!}{2}$.
- Problème NP complet.

Nbre de villes	Nbre de possibilités	temps (1 trajet = 1 μ s)
5	12	12 μ s
10	181 440	0,18 s
15	43 milliards	12 h
20	60 E+15	1928 ans
25	310 E+21	9,8.10 ⁹ ans



Un ennemi de l'informaticien : le voyageur de commerce

- Il s'agit de trouver le chemin le plus court entre n villes, qui passe une seule fois par chaque ville.
- Problème simple ! il n'y a qu'à analyser toutes les solutions.
- Erreur le temps de calcul croit de manière exponentielle. A partir de 30 villes cela prendrait ... plusieurs milliards d'années !
- Le nombre de possibilités (nombre de trajets possibles) est de $\frac{(n-1)!}{2}$.
- Problème NP complet.

Nbre de villes	Nbre de possibilités	temps (1 trajet = 1 μ s)
5	12	12 μ s
10	181 440	0,18 s
15	43 milliards	12 h
20	60 E+15	1928 ans
25	310 E+21	9,8.10 ⁹ ans



Un ennemi de l'informaticien : le voyageur de commerce

- Il s'agit de trouver le chemin le plus court entre n villes, qui passe une seule fois par chaque ville.
- Problème simple ! il n'y a qu'à analyser toutes les solutions.
- Erreur le temps de calcul croit de manière exponentielle. A partir de 30 villes cela prendrait ... plusieurs milliards d'années !
- Le nombre de possibilités (nombre de trajets possibles) est de $\frac{(n-1)!}{2}$.
- Problème NP complet.

Nbre de villes	Nbre de possibilités	temps (1 trajet = 1 μ s)
5	12	12 μ s
10	181 440	0,18 s
15	43 milliards	12 h
20	60 E+15	1928 ans
25	310 E+21	9,8.10 ⁹ ans

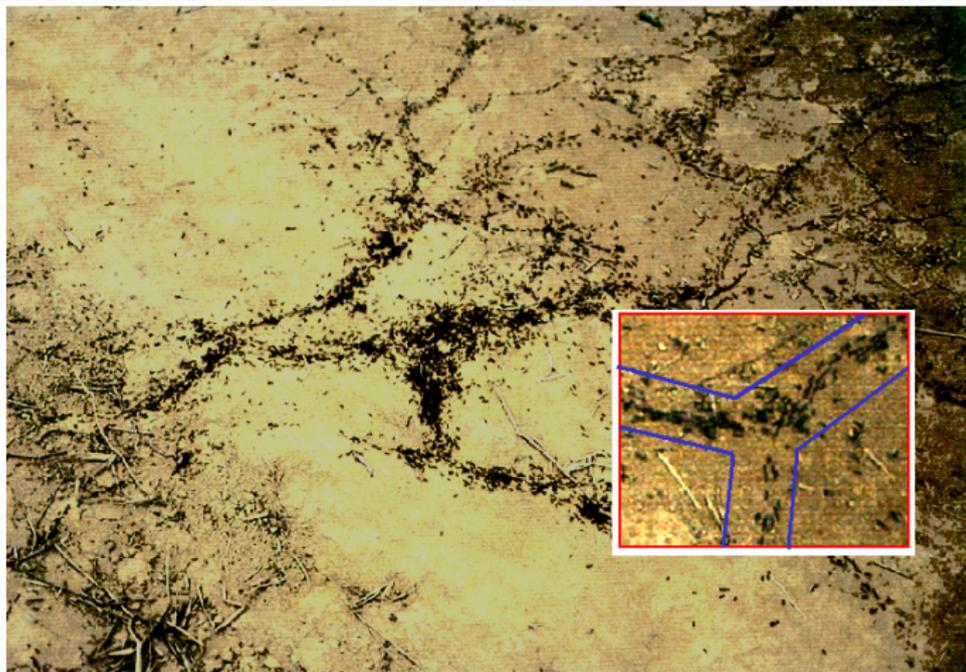


En utilisant des heuristiques

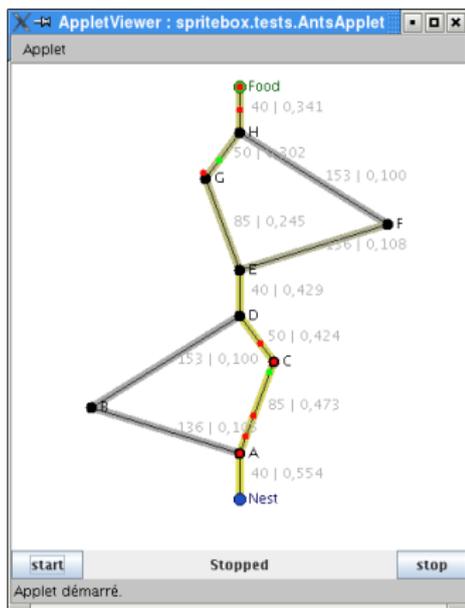
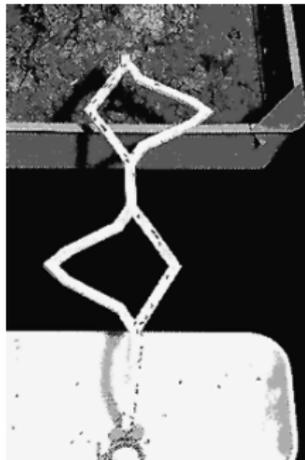
Le record (2004)



Fourmis voyageuses de commerce

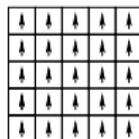


Expérience de Deneubourg



Des mathématiciens ?

- Un problème simple pour un informaticien :

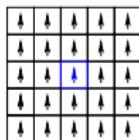


- Une question non encore résolue par les matheux : pourquoi un cercle ?
- Et pourtant ...



Des mathématiciens ?

- Un problème simple pour un informaticien :

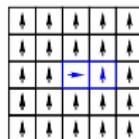


- Une question non encore résolue par les matheux : pourquoi un cercle ?
- Et pourtant ...



Des mathématiciens ?

- Un problème simple pour un informaticien :

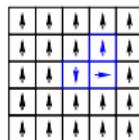


- Une question non encore résolue par les matheux : pourquoi un cercle ?
- Et pourtant ...



Des mathématiciens ?

- Un problème simple pour un informaticien :

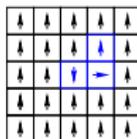


- Une question non encore résolue par les matheux : pourquoi un cercle ?
- Et pourtant ...



Des mathématiciens ?

- Un problème simple pour un informaticien :

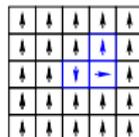


- Une question non encore résolue par les matheux : pourquoi un cercle ?
- Et pourtant ...

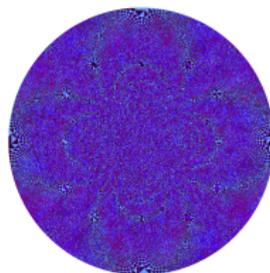


Des mathématiciens ?

- Un problème simple pour un informaticien :



- Une question non encore résolue par les matheux : pourquoi un cercle ?
- Et pourtant ...



Des physiciens et des fourmis

- Un prédateur impitoyable : des larves de fourmilions ;
- Le fourmilion a tout compris à :
 - La physique des particules ;
 - La criticalité auto-organisée !
 - ...



Des physiciens et des fourmis

- Un prédateur impitoyable : des larves de fourmilions ;
- Le fourmilion a tout compris à :
 - La physique des particules ;
 - La criticalité auto-organisée !
 - ...



Des physiciens et des fourmis

- Un prédateur impitoyable : des larves de fourmilions ;
- Le fourmilion a tout compris à :
 - La physique des particules ;
 - La criticalité auto-organisée !
 - ...



Des physiciens et des fourmis

- Un prédateur impitoyable : des larves de fourmilions ;
- Le fourmilion a tout compris à :
 - La physique des particules ;
 - La criticalité auto-organisée !
 - ...



Des physiciens et des fourmis

- Un prédateur impitoyable : des larves de fourmilions ;
- Le fourmilion a tout compris à :
 - La physique des particules ;
 - La criticalité auto-organisée !
 - ...



Des questions ?

