

Morphogenèses Informatiques

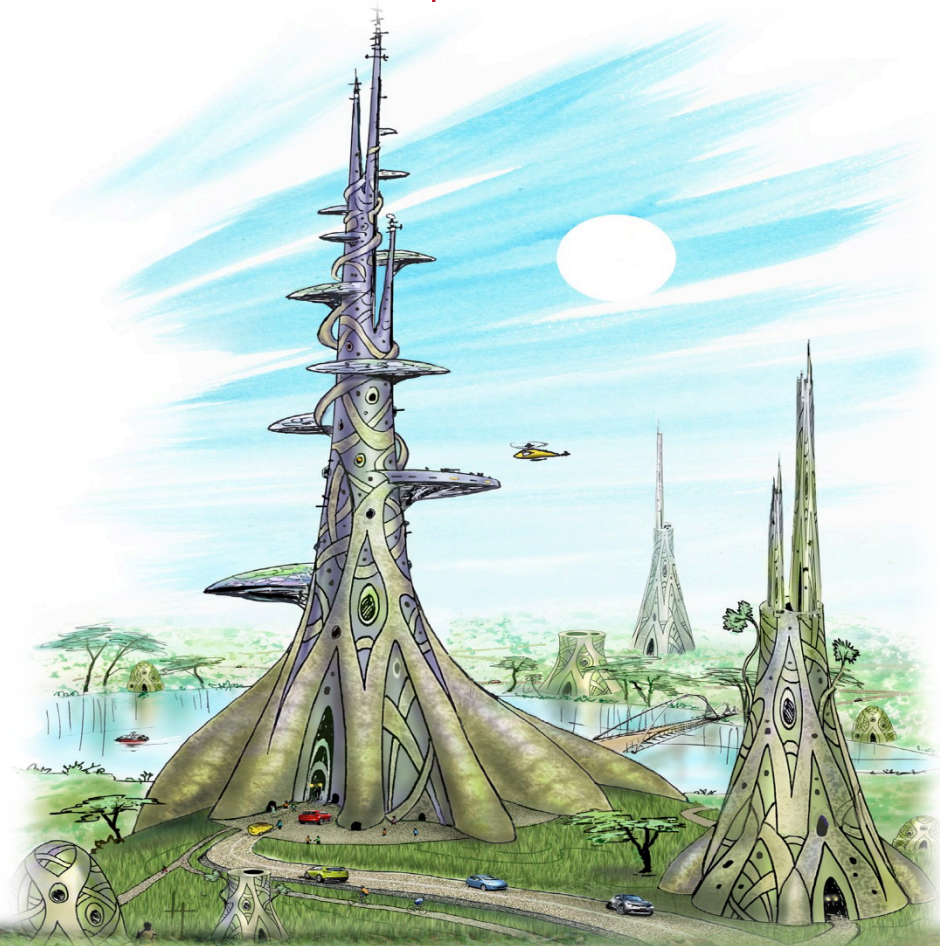
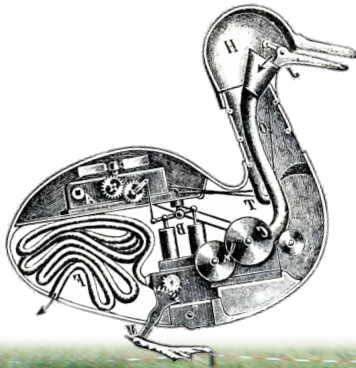
le naturel et l'artefactuel

Jean-Louis Giavitto

Morphogenèses Informatiques

le naturel et l'artefactuel

Jean-Louis Giavitto



1. Y a t'il une différence entre une machine et un organisme ?
2. Peut-on doter nos programmes de qualités que l'on attribue habituellement au vivant ?
(autonomie, adaptation, auto-réparation...)

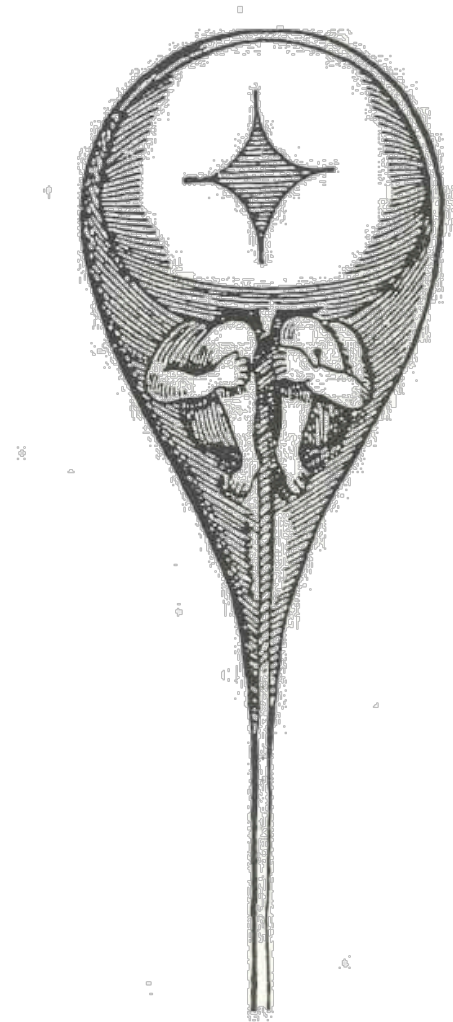
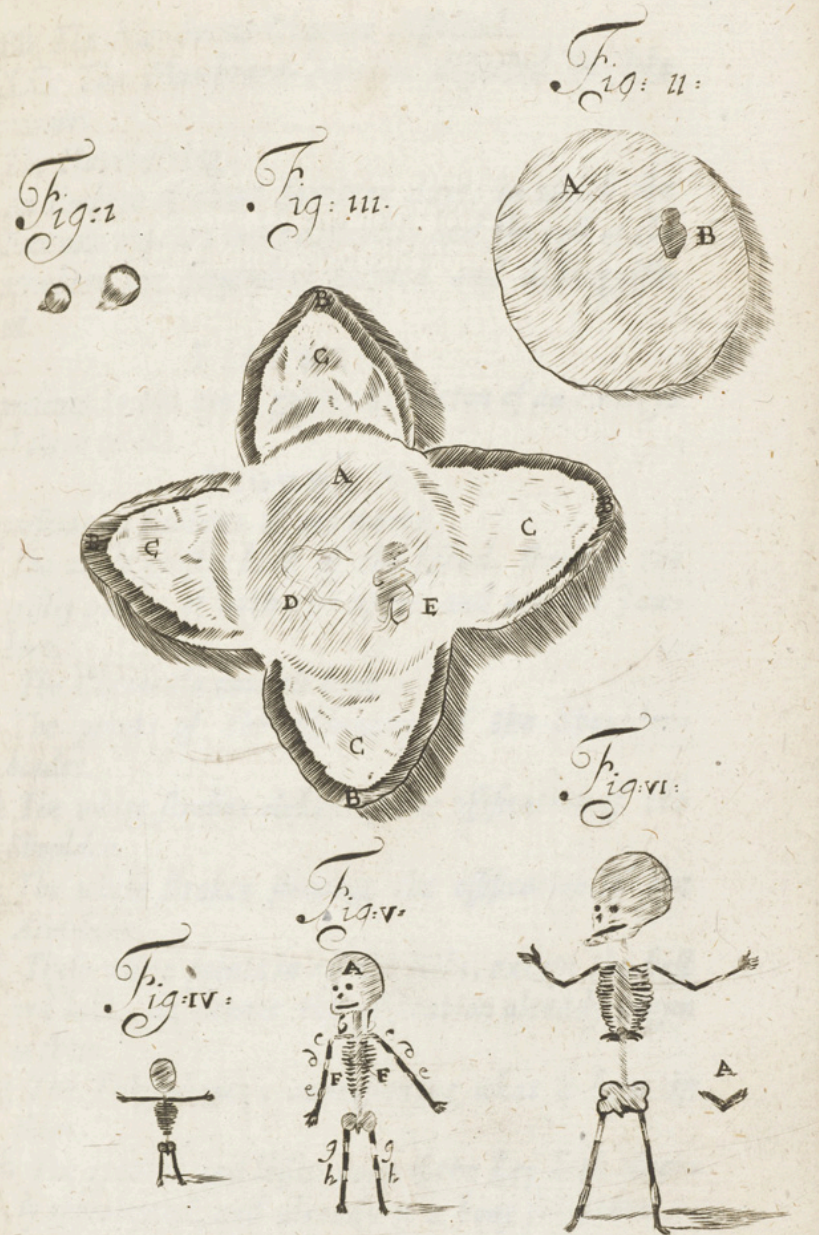
- La question de la reine *Christine*
- *Von Neuman* : la reproduction des machines
- *Turing*, la machine universelle et la morphogenèse
- Des systèmes dynamiques à structure dynamique (SD²)
Waddington et le paysage épignétique
- Système de *Lindenmayer*
- Vers une ingénierie morphogénétique

Descartes, la Reine Christine et *la reproduction des horloges*

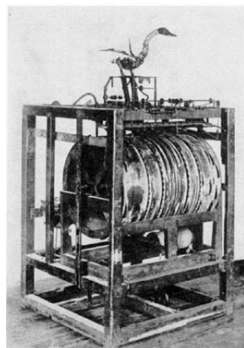
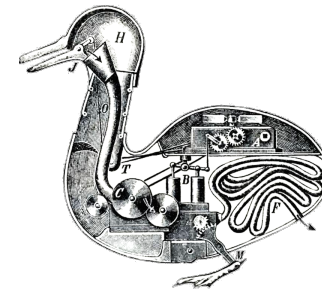


- les organes du corps humain comme les pièces d'une machine agencée par Dieu
- les principales fonctions « la digestion, la locomotion, la respiration, mais aussi la mémoire et l'imagination » à l'image d'une horloge qui montre les heures par la seule disposition de ses roues et contrepoids
- Christine de Suède : « montrez-moi une horloge qui se reproduise »

Préformationisme



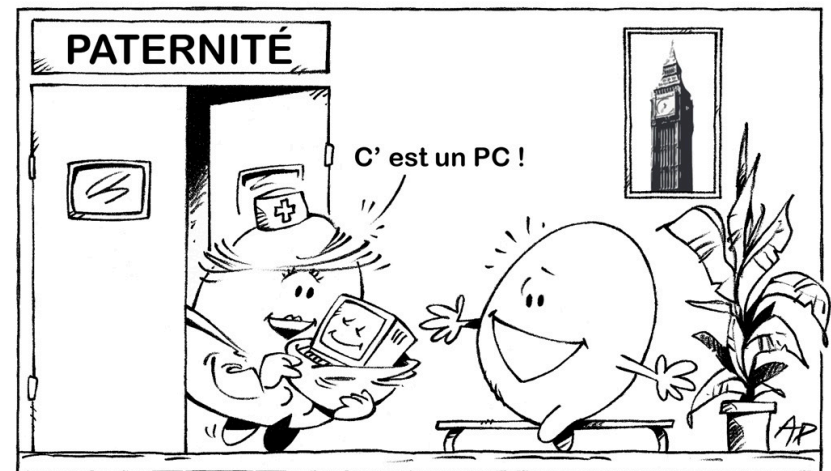
Les anatomies mouvantes



John Von Neumann

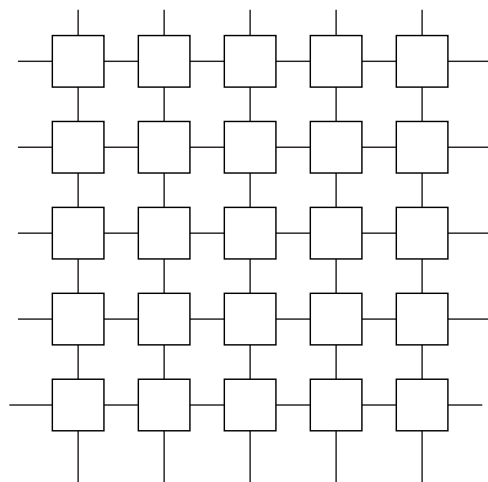
The General and Logical Theory of Automata

```
#include<stdio.h> main()  
{char*c="\\"  
\"#include<stdio.h>  
%cmain(){char*c=%c%c%c%.  
102s%cn%c ;printf(c  
+2,c[102],c[1],*c,*c,c,*c  
,c[1]) ;exit(0) ;}  
\\n" ;printf(c  
+2,c[102],c[1],*c,*c,c,*c  
,c[1]) ;exit(0) ;}
```



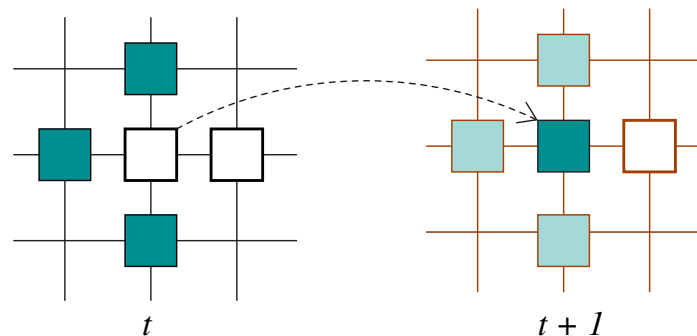
John Von Neumann

The General and Logical Theory of Automata



un réseau de cellule

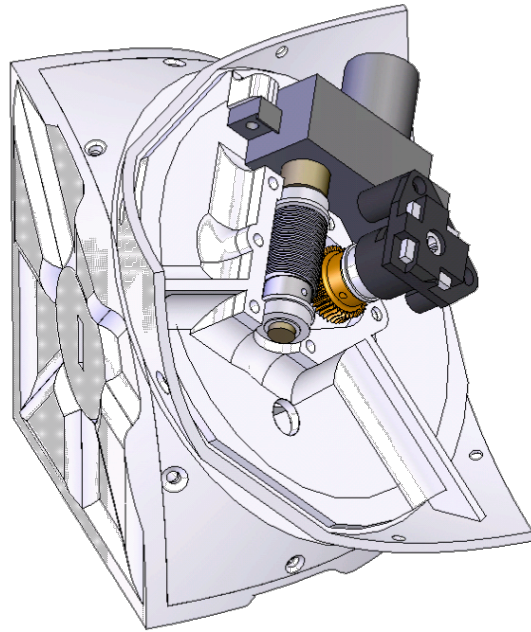
□ cellule dans l'état 0 ■ cellule dans l'état 1



évolution d'une cellule

John Von Neumann

The General and Logical Theory of Automata



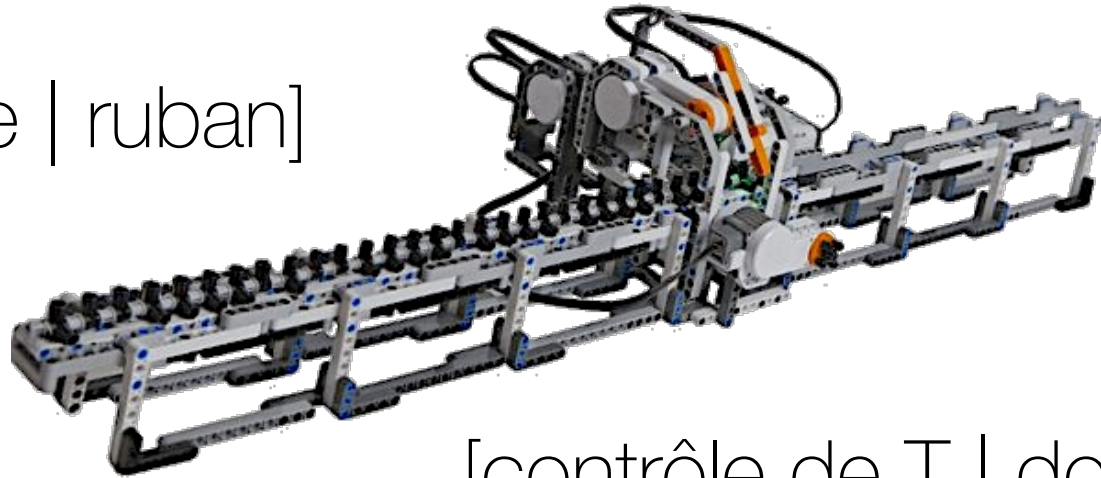
Alan Turing



Une machine universelle



[contrôle | ruban]



[contrôle de T | données de T]

[contrôle de T | données de T]

= [**contrôle de MU** | [contrôle de T | données de T]]

Une machine auto-reproductrice

[imprime deux fois le ruban | imprime deux fois le ruban]

imprime deux fois le ruban imprime deux fois le ruban

[imprime entre crochets deux fois le ruban en commençant par une barre la seconde fois |

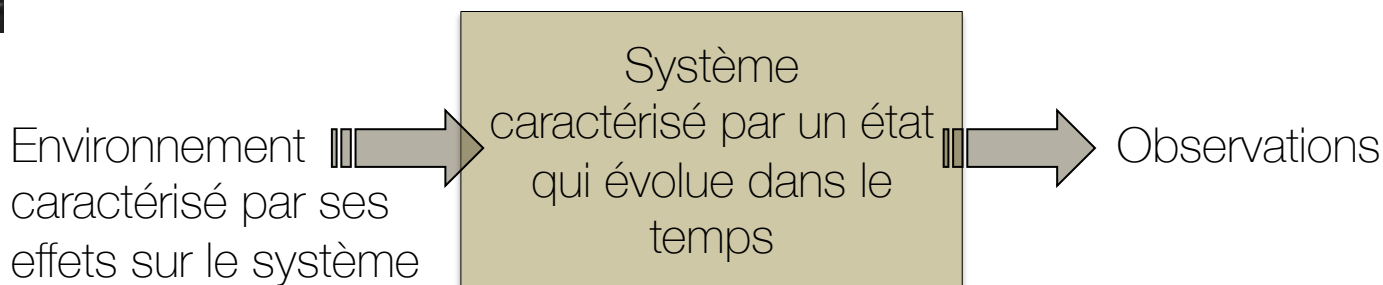
imprime entre crochets deux fois le ruban en commençant par une barre la seconde fois]



THE CHEMICAL BASIS OF MORPHOGENESIS

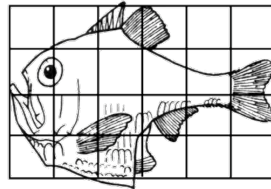
By A. M. TURING, F.R.S. *University of Manchester*

(Received 9 November 1951—Revised 15 March 1952)

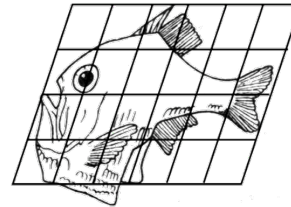


With either of the models one proceeds as with a physical theory and defines an entity called 'the state of the system'. One then describes how that state is to be determined from the state at a moment very shortly before. With either model the description of the state consists of two parts, the mechanical and the chemical.

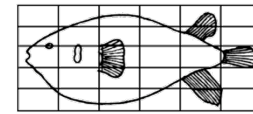
D'Arcy Wentworth Thompson



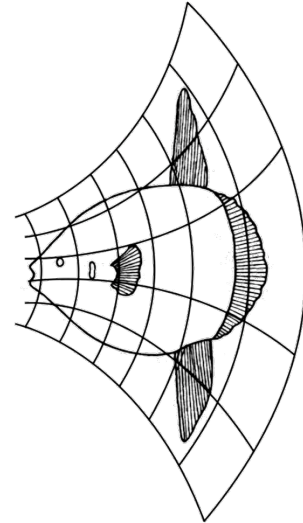
Argyroplecus



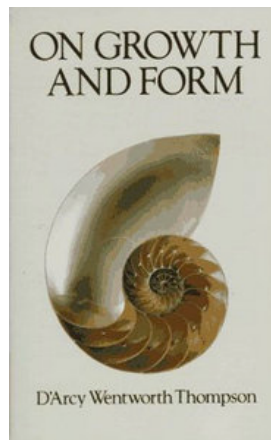
Sternoptyx



Diodon

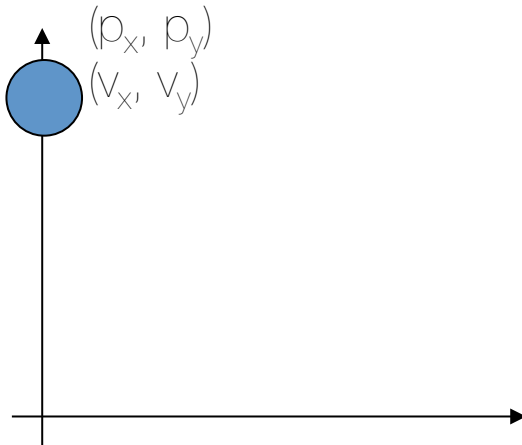


Orthogoriscus

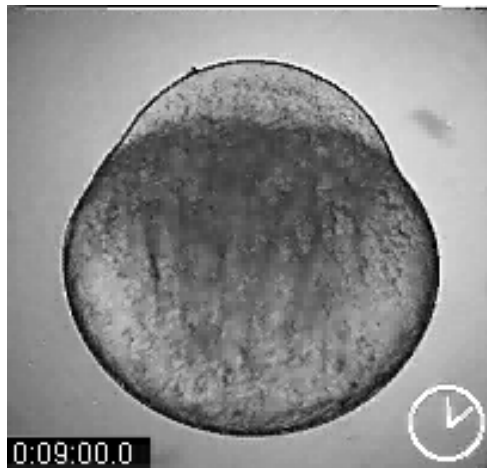


Formation des motifs vs. croissance

état = position + vitesse



état ?



38

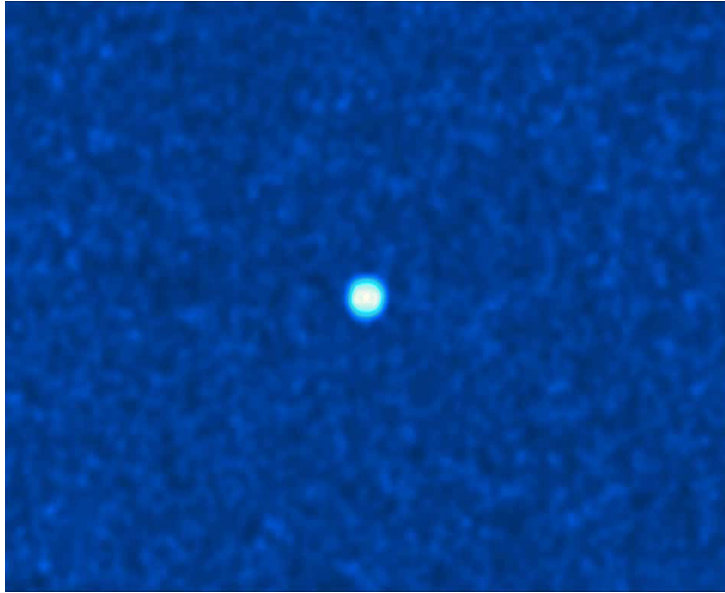
A. M. TURING ON THE

be given. In the continuous form of the theory the concentrations and diffusibilities of each substance have to be given at each point. In determining the changes of state one should take into account

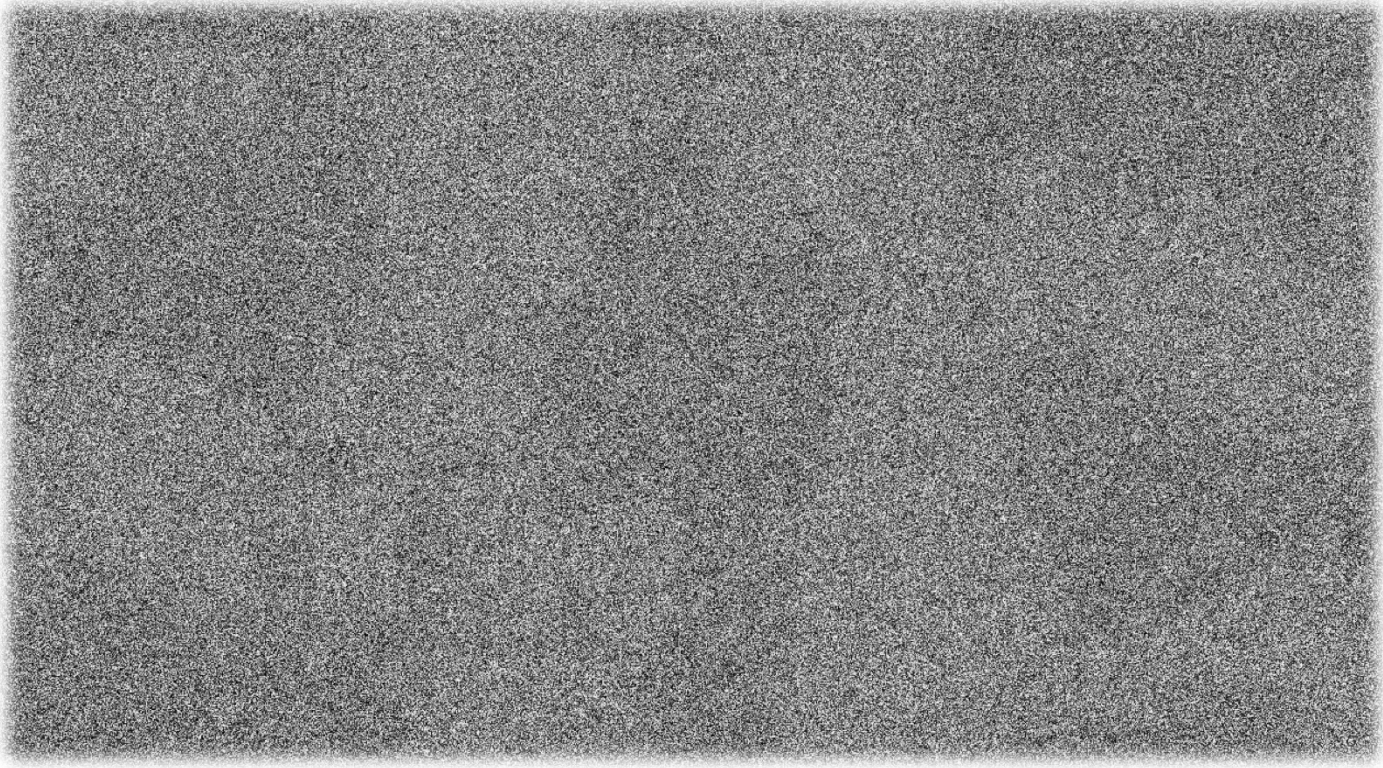
- (i) The changes of position and velocity as given by Newton's laws of motion.
- (ii) The stresses as given by the elasticities and motions, also taking into account the osmotic pressures as given from the chemical data.
- (iii) The chemical reactions.
- (iv) The diffusion of the chemical substances. The region in which this diffusion is possible is given from the mechanical data.

This account of the problem omits many features, e.g. electrical properties and the internal structure of the cell. But even so it is a problem of formidable mathematical complexity. One cannot at present hope to make any progress with the understanding of such systems except in very simplified cases. The interdependence of the chemical and mechanical data adds enormously to the difficulty, and attention will therefore be confined, so far as is possible, to cases where these can be separated. The mathematics of elastic solids is a well-developed subject, and has often been applied to biological systems. In this paper it is proposed to give attention rather to cases where the mechanical aspect can be ignored and the chemical aspect is the most significant. These cases promise greater interest, for the characteristic action of the genes themselves is presumably chemical. The systems actually to be considered consist therefore of masses of tissues which are not growing, but within which certain substances are reacting chemically, and through which they are diffusing. These substances will be called morphogens, the word being intended to convey the idea of a form producer. It is not intended to have any very exact meaning, but is simply the kind of substance concerned in this theory. The evocators of Waddington provide a good example of morphogens (Waddington 1940). These evocators diffusing into a tissue somehow

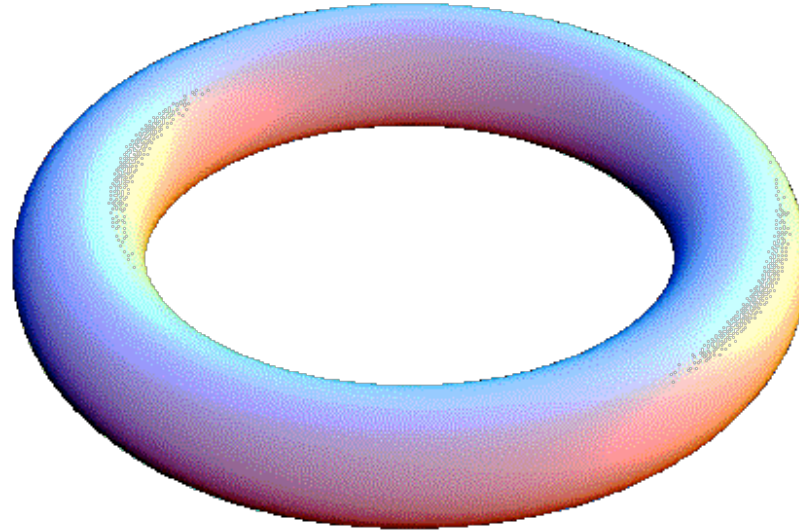
Réaction-diffusion



Réaction-diffusion



Réaction-diffusion



Le problème avec le tricot



Système dynamique à structure dynamique

Dynamique *de* la forme

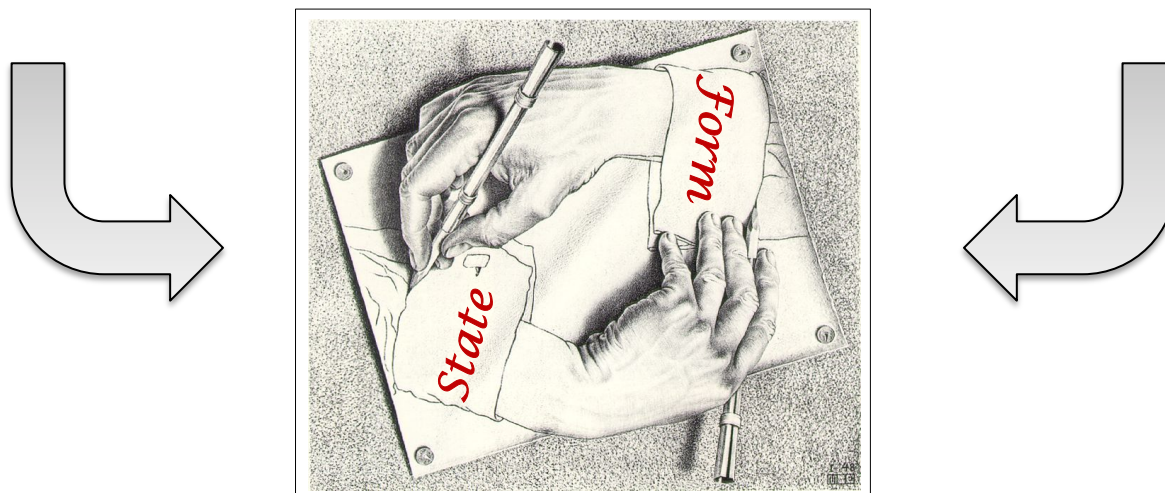
croissance,
transformation d'une forme

- système de Lindenmayer
- déformation élastique

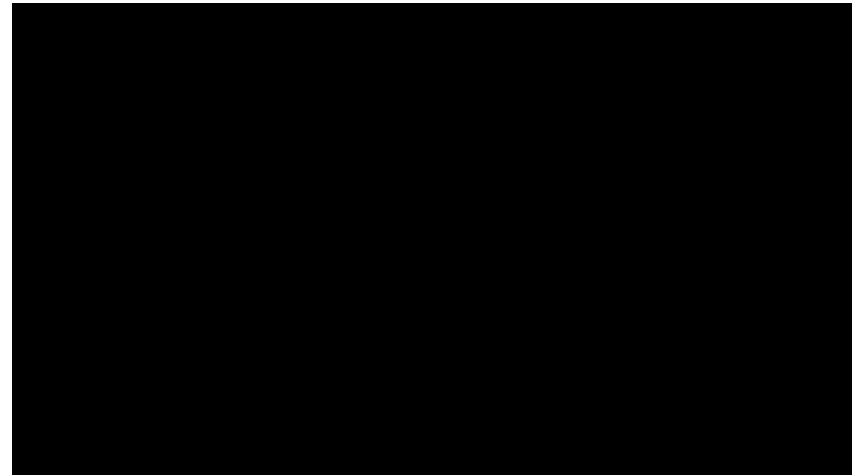
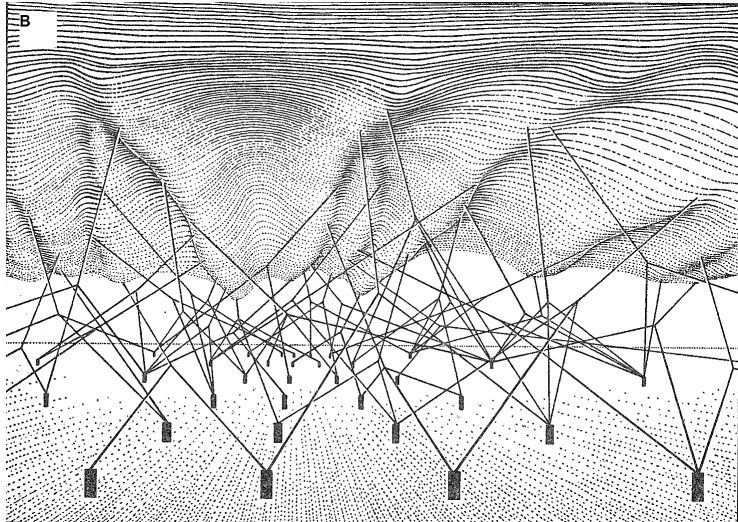
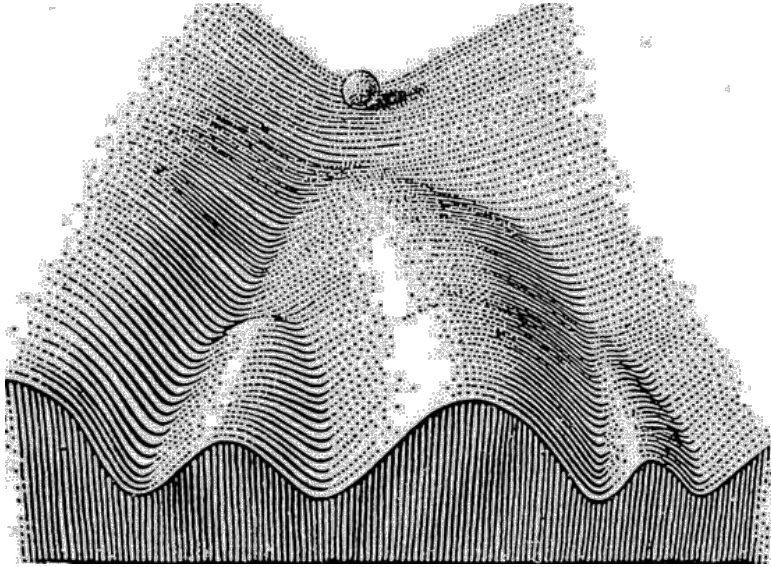
Dynamique *dans* la forme

formation de motifs dans un
medium prédéfini

- automate cellulaire
- réaction-diffusion

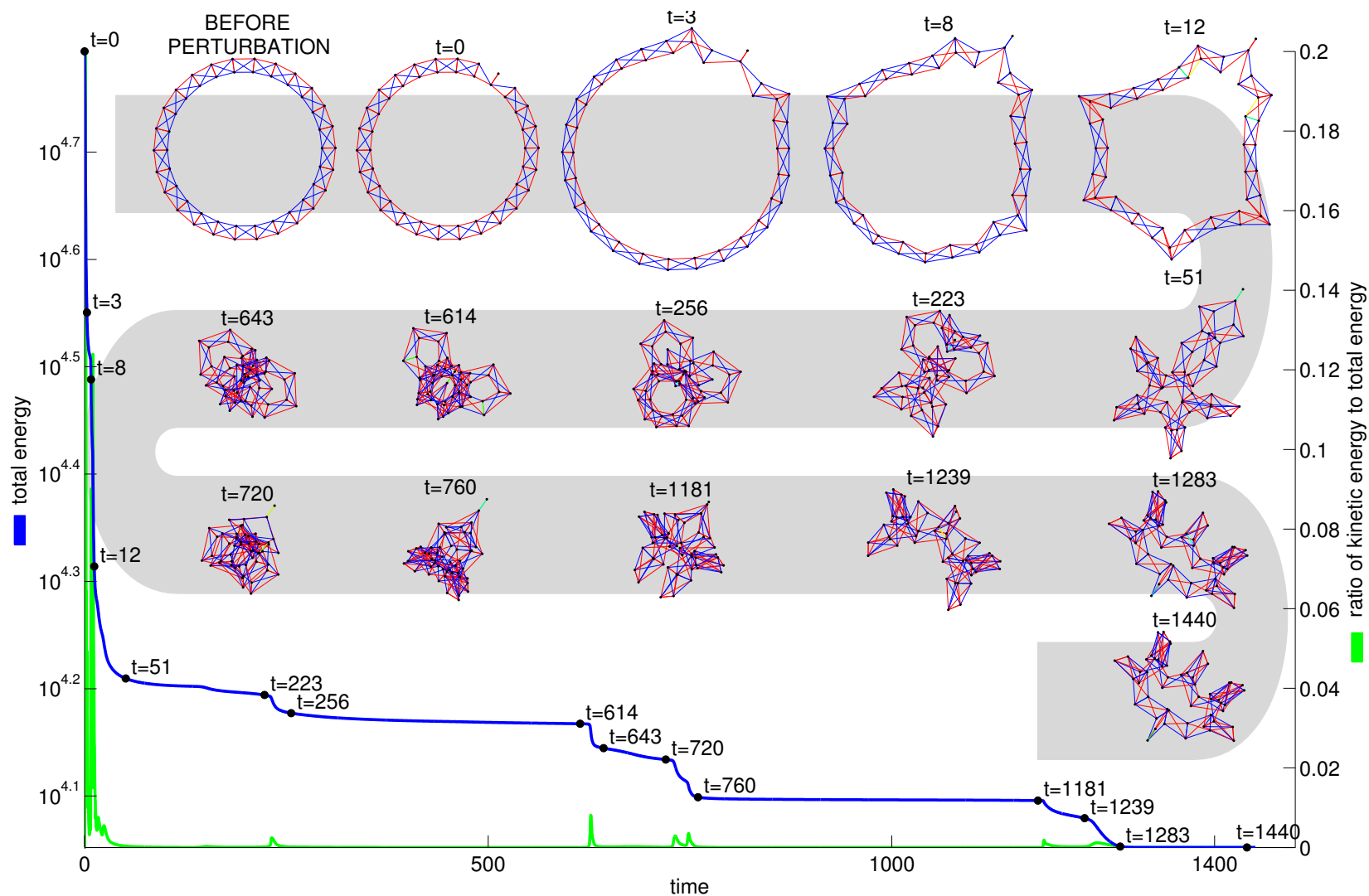


Waddington : Paysage épigénétique



Link Li & Mhairi Towler, 2012

Processus développemental « sans » contrôle génétique ?

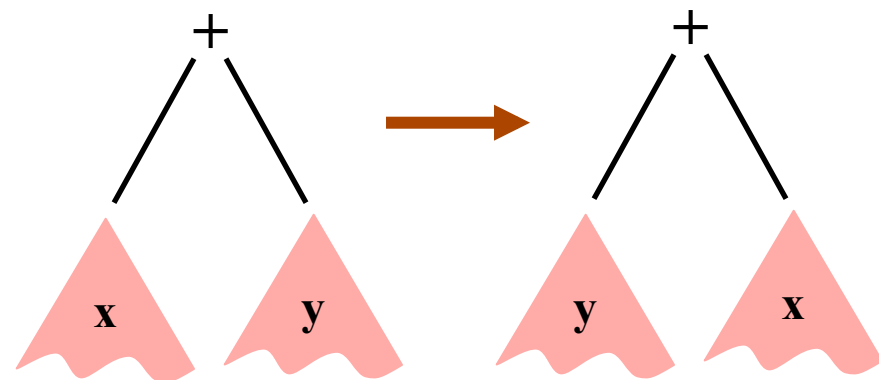
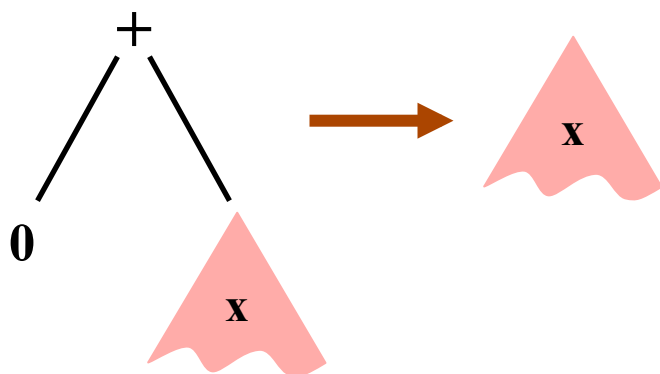


- Systèmes de Lindenmayer
- MGS (réécriture topologique)
- Biologie synthétique
- Ingénierie morphogénétique
- Faire pousser des buildings
- Ecosystème augmenté

Quelques exemples...

Systemes de réécriture

- formalisation du raisonnement équationnel (remplacer des égaux par des égaux)
- un mécanisme génératif (grammaire)
- substituer une entité par une autre
- un ensemble de règles de réécriture $\alpha \rightarrow \beta$
 - α : un motif spécifiant un (sous-)objet
 - β : une expression qui va remplacer le (sous-objet) sélectionné
- Exemple: simplification des expressions arithmetiques



Une interprétation non-standard

$$e_1 + e_2 \rightarrow \dots$$

e_1 une cellule et e_2 un signal

e_1 et e_2 sont deux cellules en interaction

$+$ la possibilité d'une interaction entre entités

$\rightarrow$ le passage du temps, une évolution locale,
une transition, une transformation élémentaire,
la concrétisation d'une interaction

Exemples: si e est une cellule et i un signal biochimique

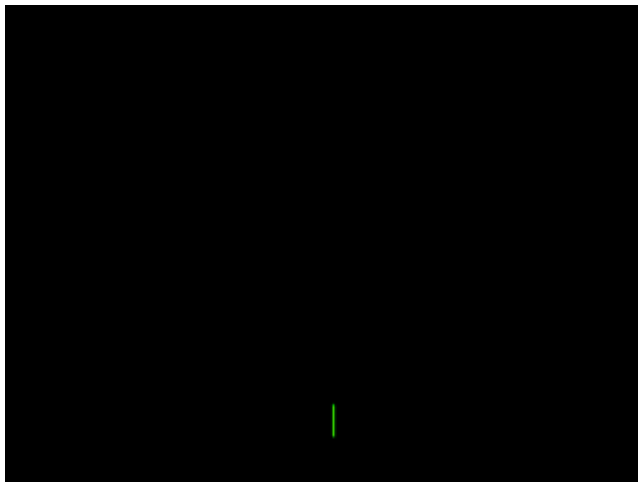
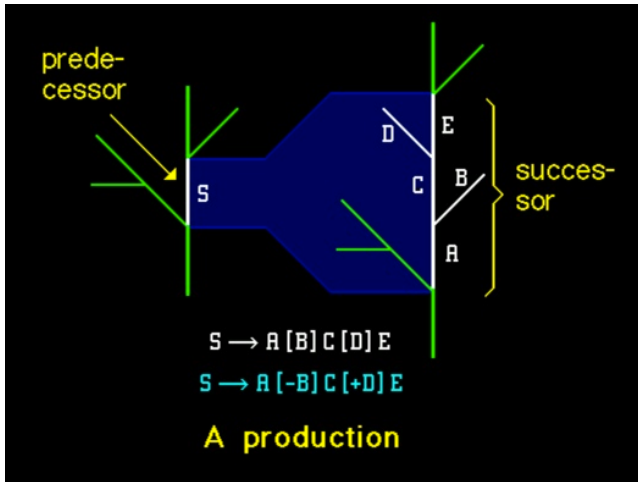
$e + i \rightarrow e'$ croissance (réponse de e au signal i)

$e + i \rightarrow e+i'$ *quorum sensing*

$e + i \rightarrow e' + e'$ division

$e + i \rightarrow .$ apoptose

Les systèmes de Lindenmayer



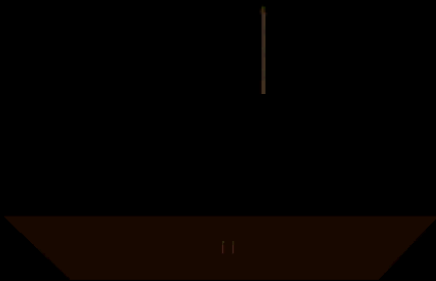
- La structure d'un arbre (botanique) peut être codée par une chaîne de symboles avec des parenthèses
- Un symbole représente une partie élémentaire de la plante
- Les symboles entre [and] representent un sous-arbre
- Des symboles supplémentaires sont utilisés pour indiquer des informations supplémentaires : axe principal, orientation, épaisseur, etc.
- Une règle

$$S_0 \rightarrow S_1 S_2 S_3 \dots$$
 représente l'évolution de s_0 (son futur, sa destinée)
- Un module est un symbole paramétré

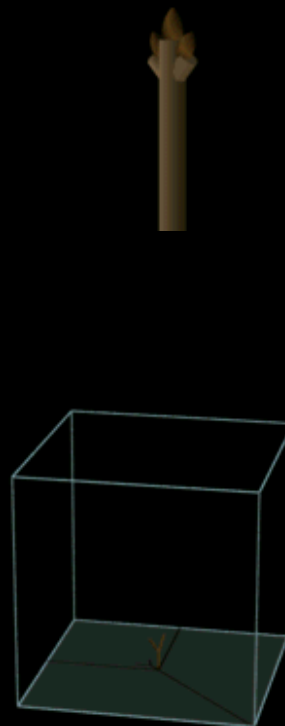
$s(\text{size, polarity, concentration of a, velocity})$

L systèmes (P. Prusinkiewicz)

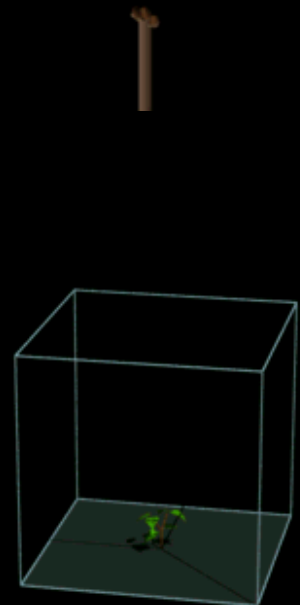
00:22:50



00:00:00

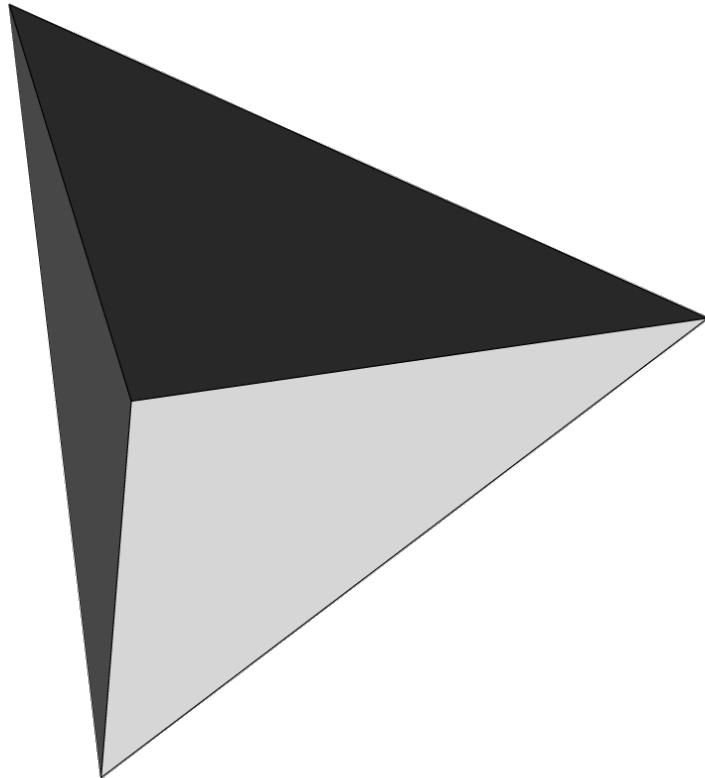


00:00:00

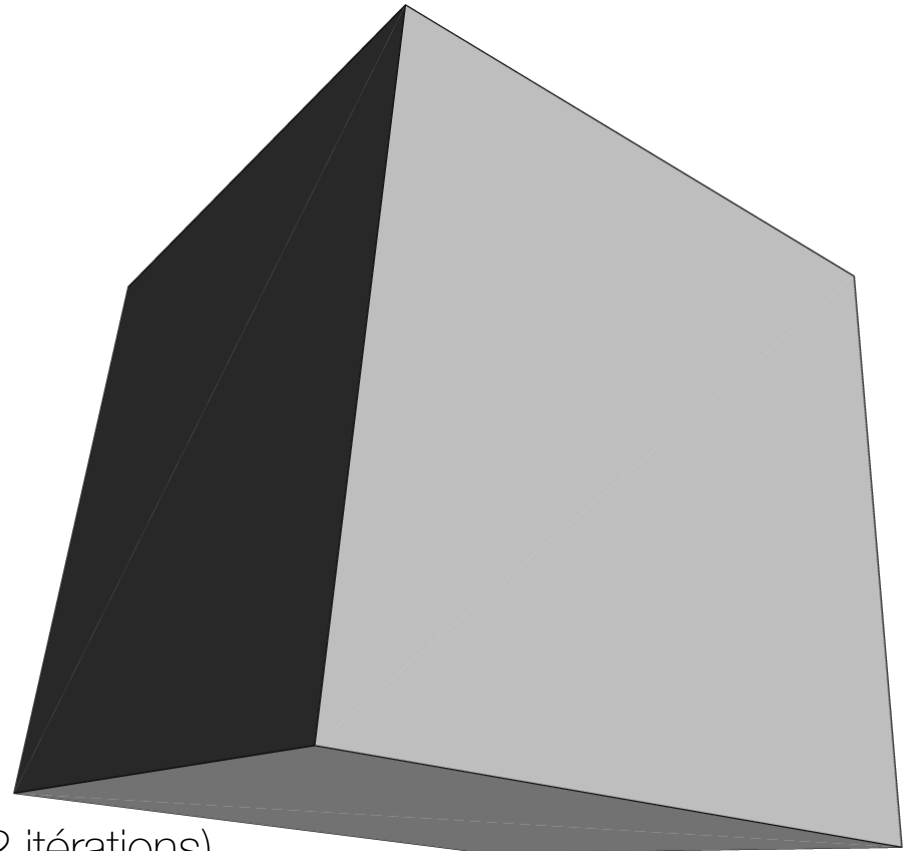


Construction d'une fractale par creusement (auto-désassemblage) en MGS

mgs.spatial-computing.org



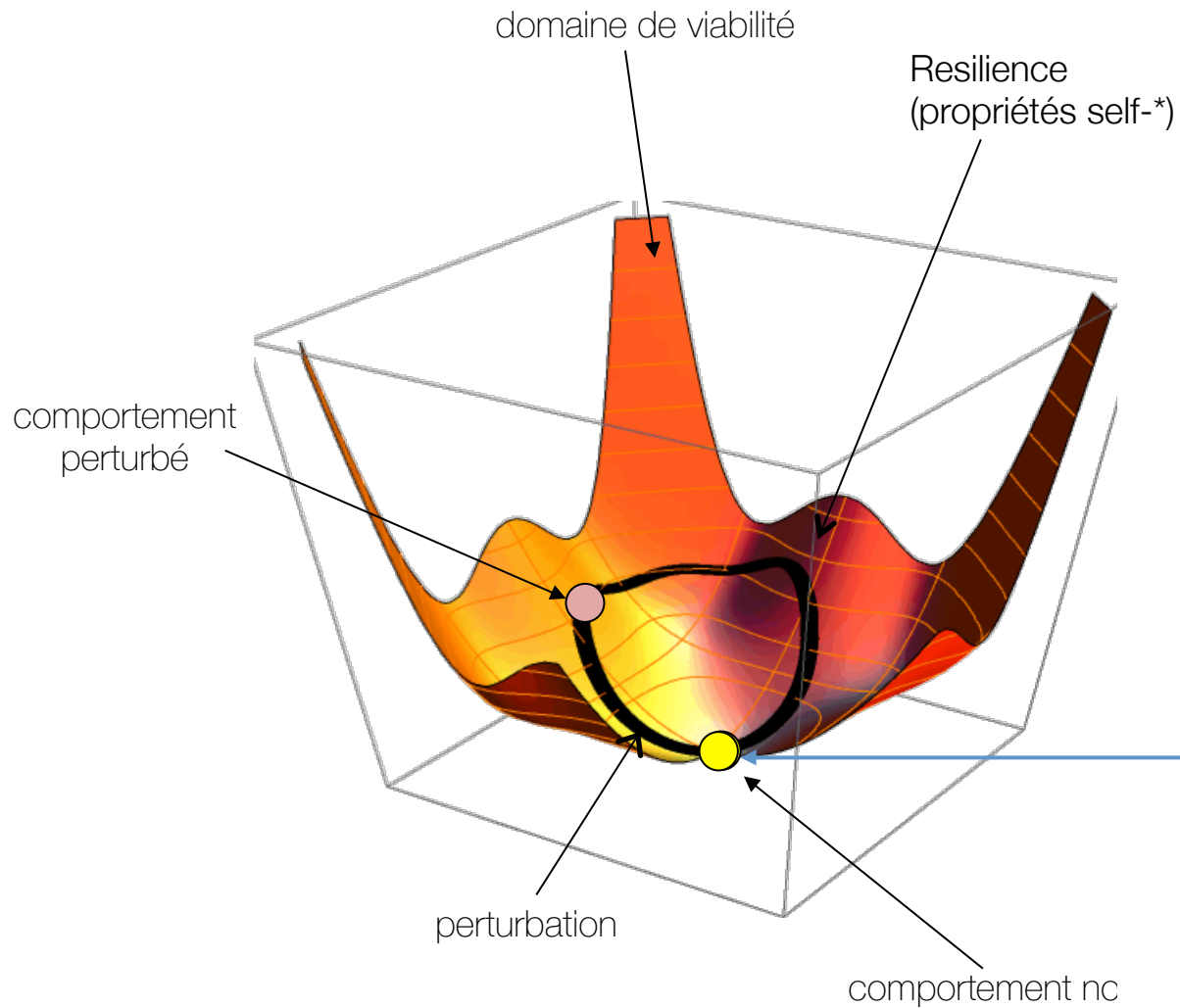
Eponge de Sierpinsky sponge (4 itérations)



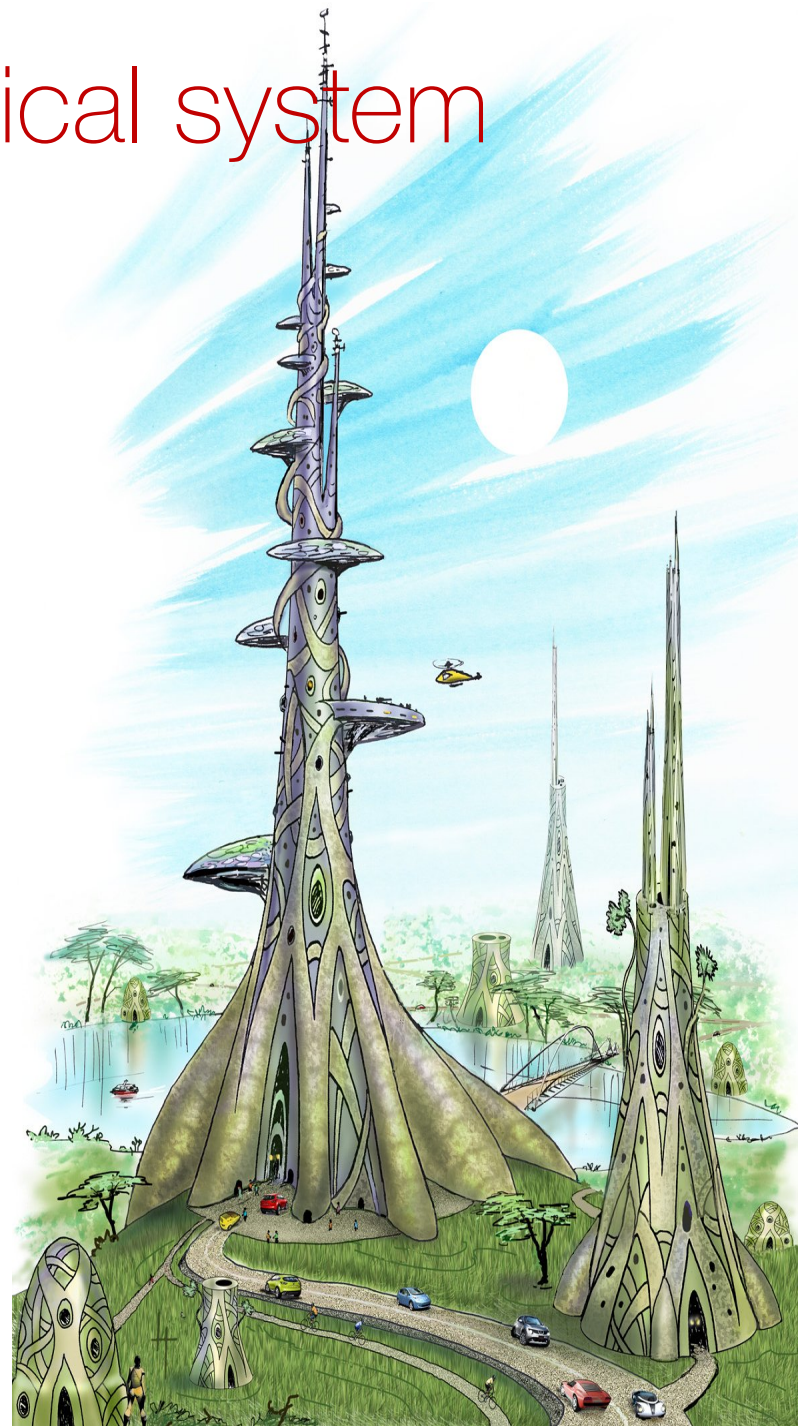
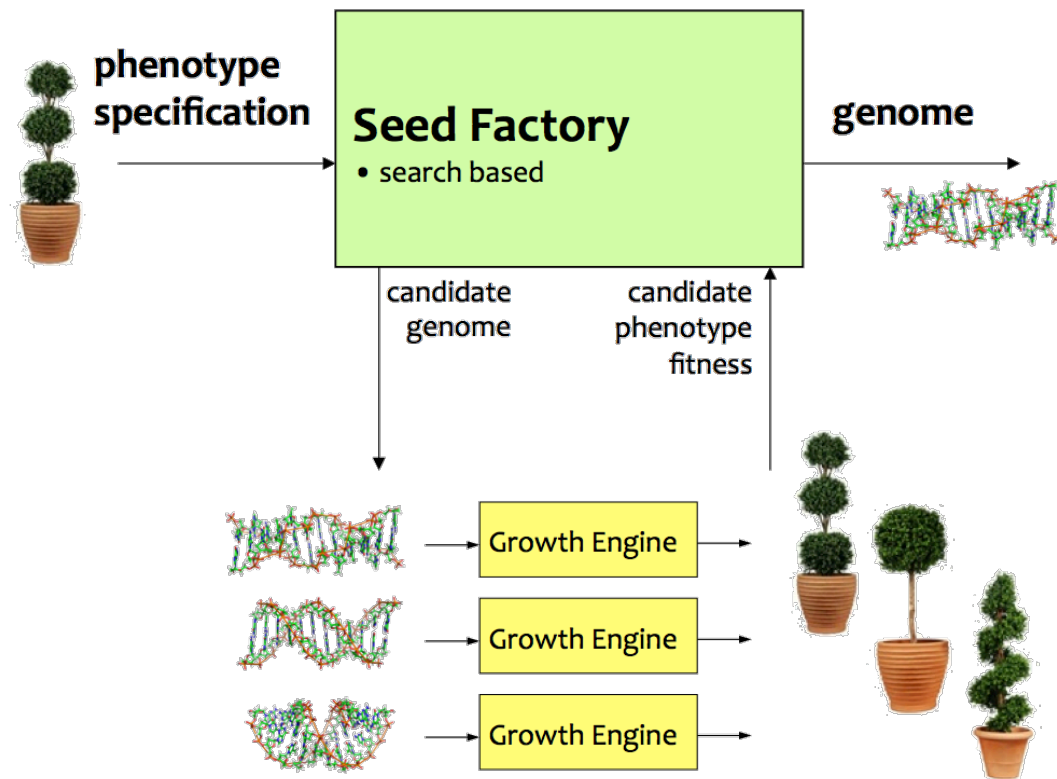
Eponge de Menger (2 itérations)

Faire pousser plutôt que construire

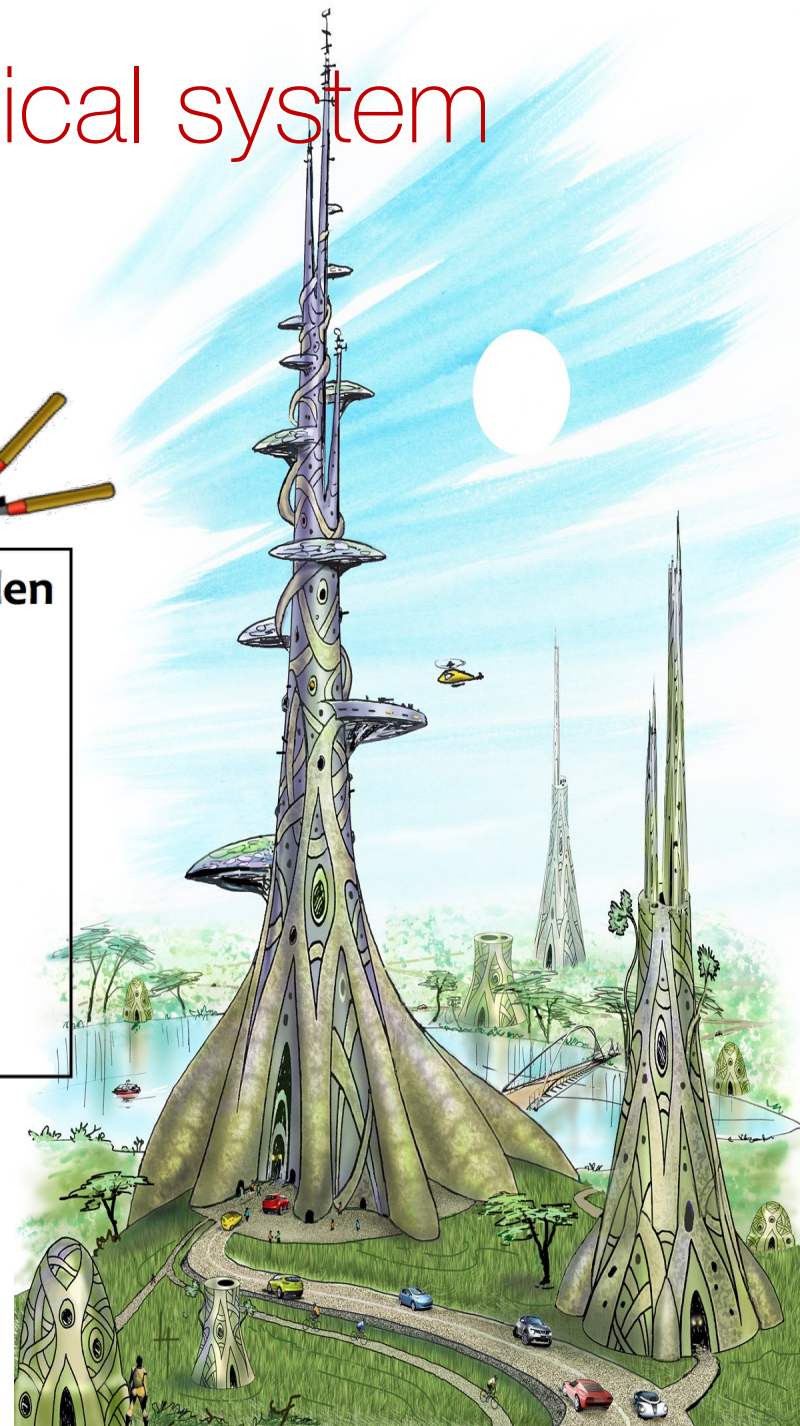
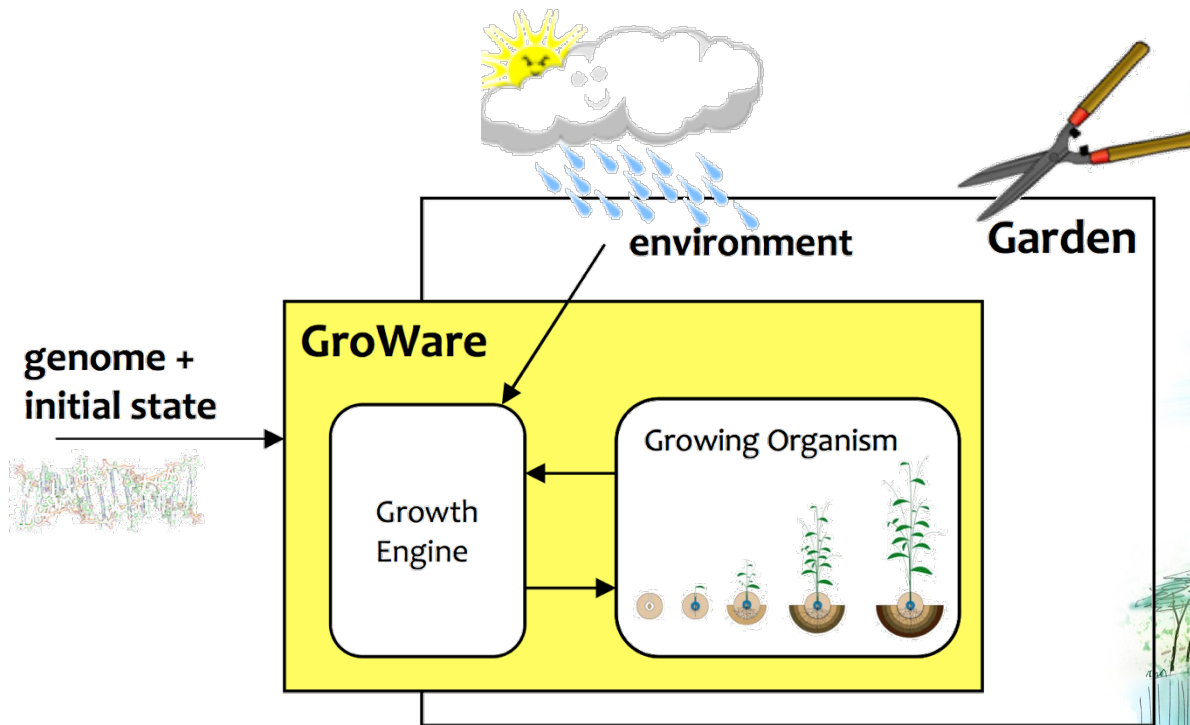
Les systèmes autonomes



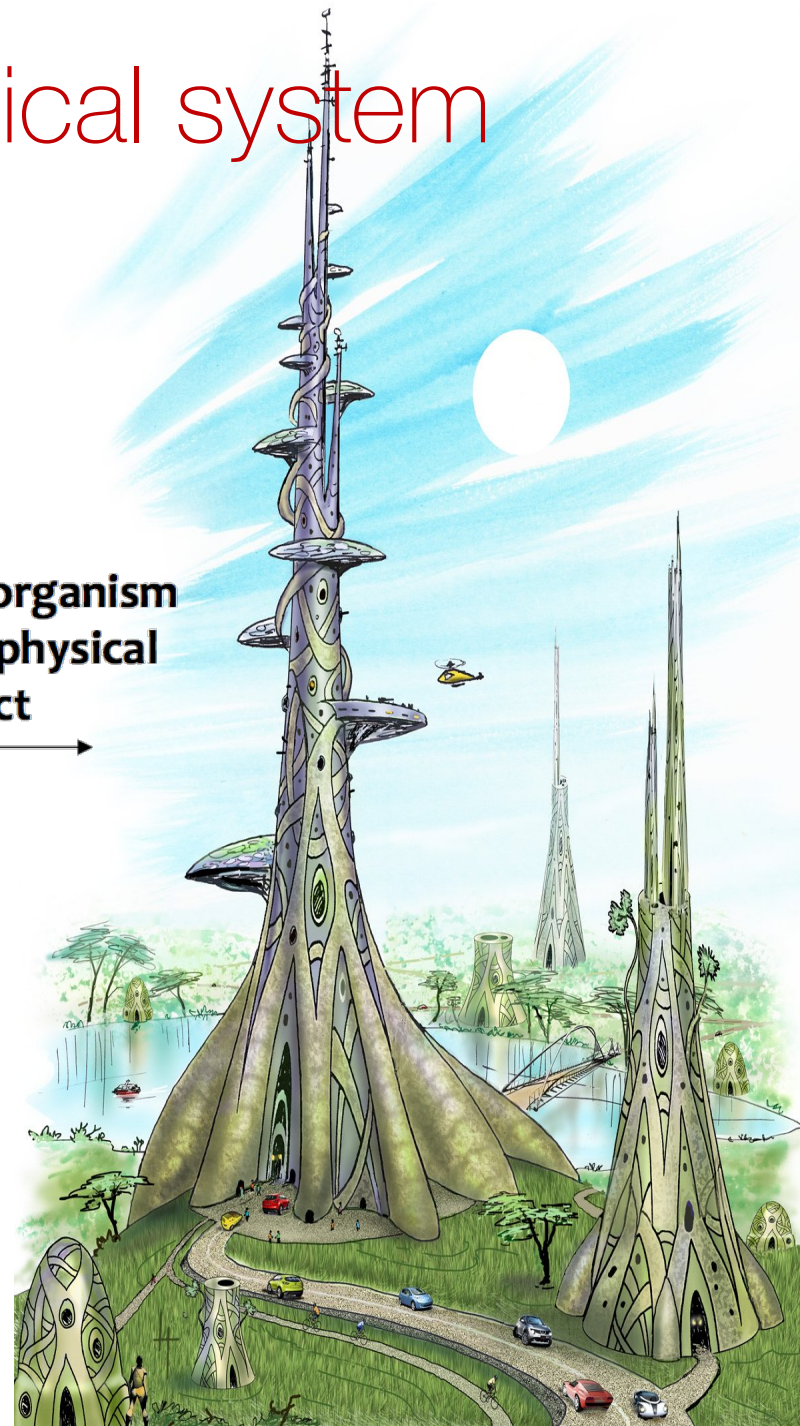
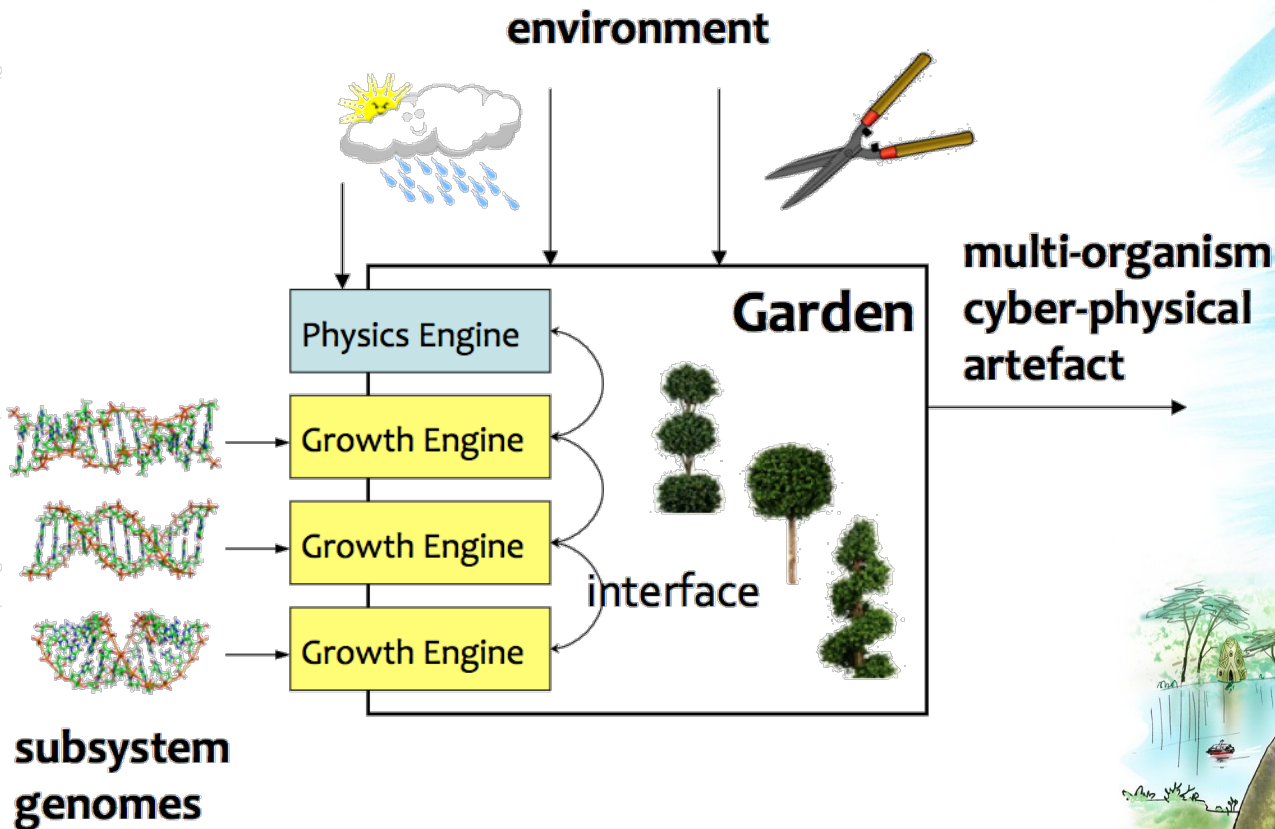
GROwing CYber PHYsical system



GROwing CYber PHYsical system



GROwing CYber PHYsical system



Est-ce si différent ?





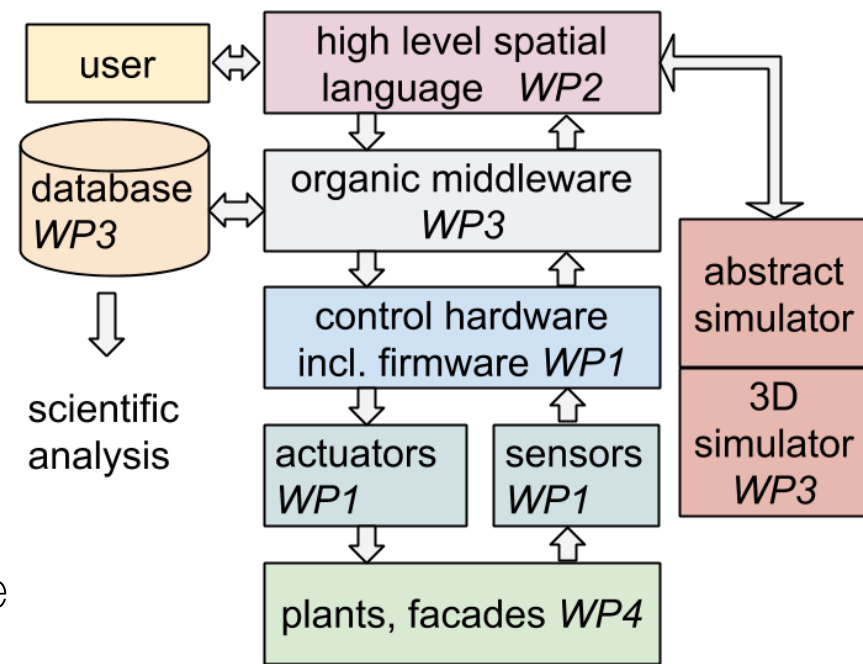
Le chêne d'Allouville.



Computer Augmented Vertical Ecologies



Un eco-système « augmenté »

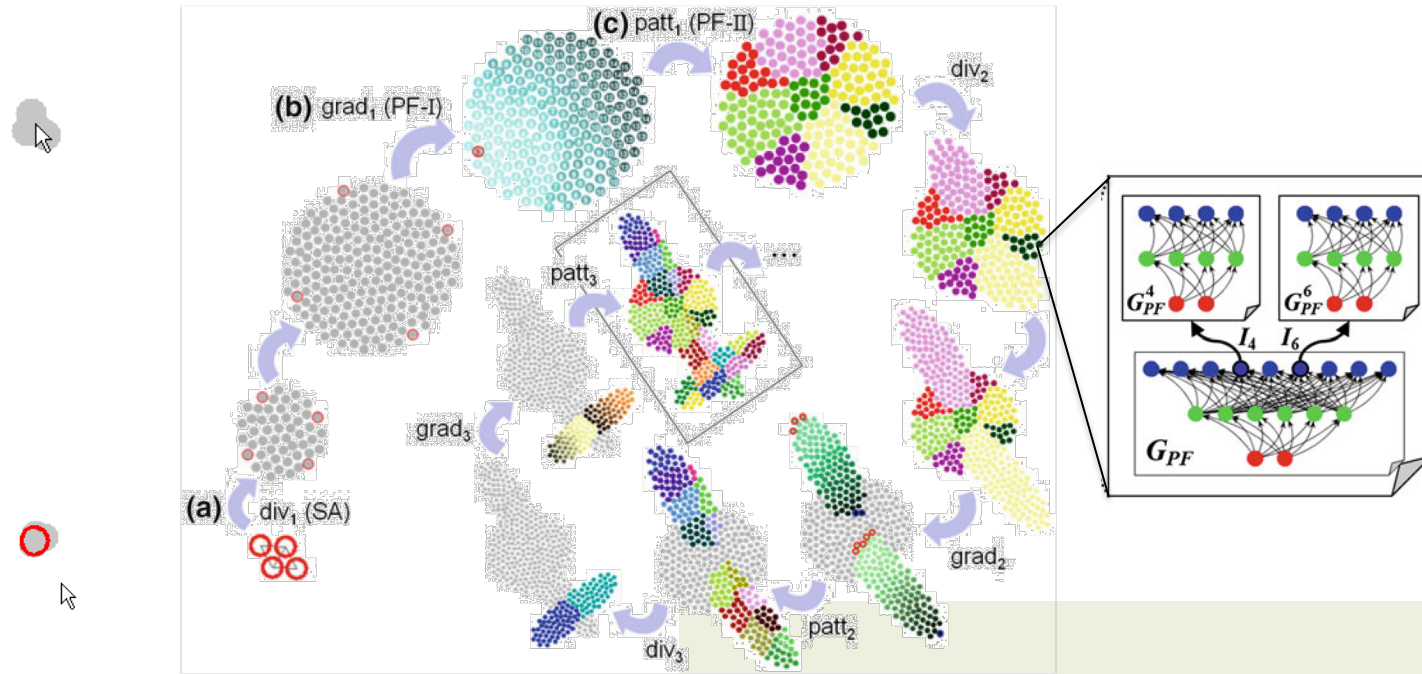


- Faisabilité du contrôle d'un petit biotope par feedback
- Développer les outils logiciel permettant de réaliser des systèmes intégrés réalisant une symbiose entre biotope et un ordinateur
- Apprentissage et capitalisation des bonnes réponses faces aux agressions de l'environnement tant des végétaux qui composent le mur que du mur en tant qu'organisme.
- Application au développement de murs végétaux contrôlés permettant de faire face à des environnements hostiles

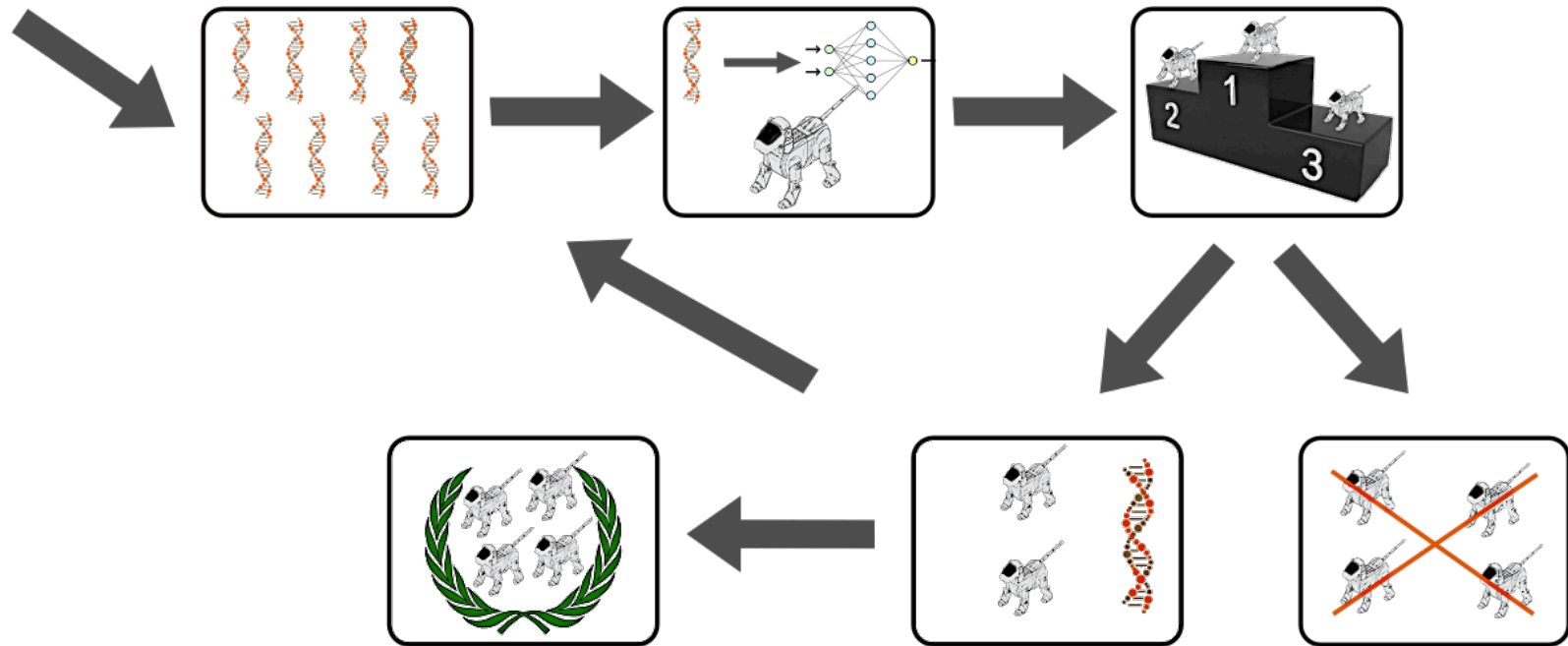
Evoluer plutôt que programmer la
morphogénèse

Le modèle MapDevo 2D (René Doursat)

(no cell mobility, no attachment, only development)

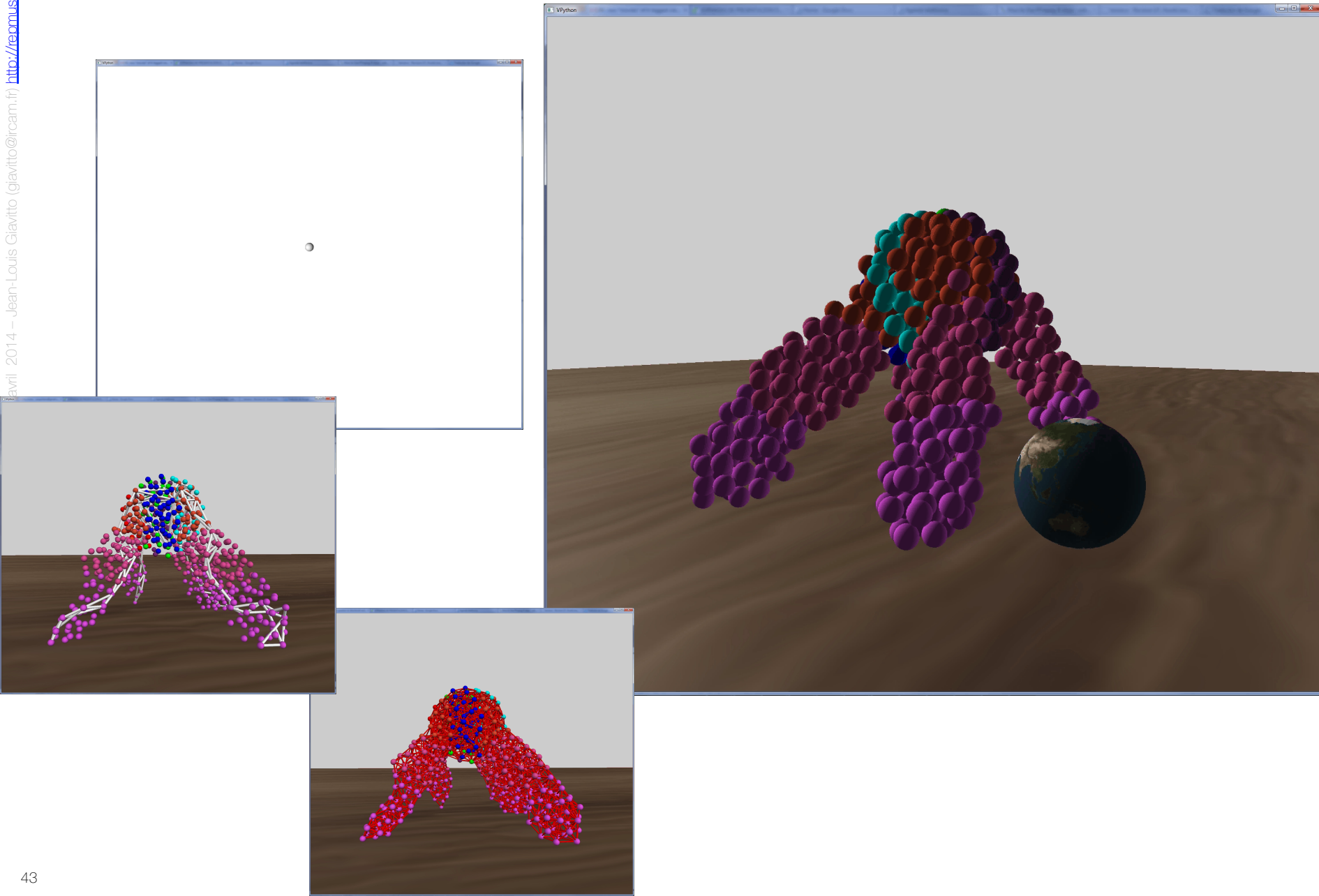


Algorithmes évolutionnistes



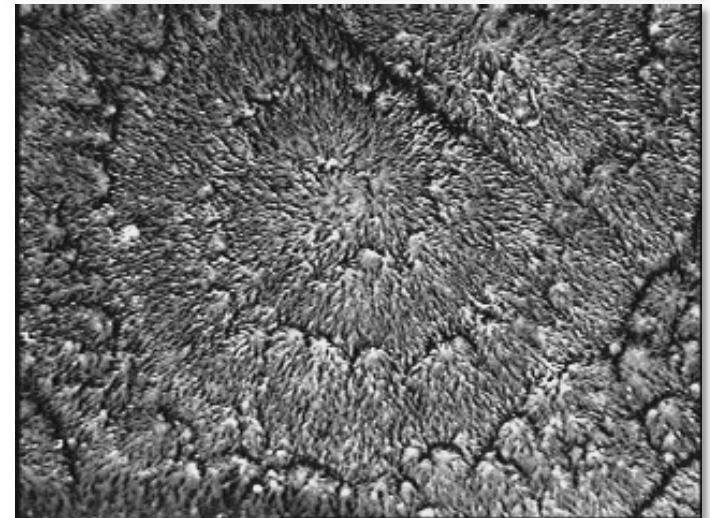
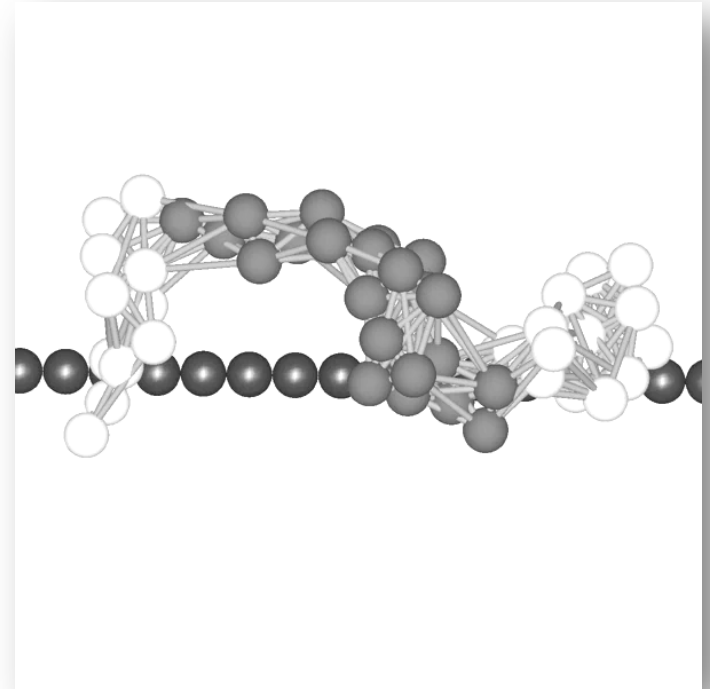
Optimisation	algo. évolutionniste
solution candidate	individu
ensemble de solutions candidates	population
fonction objectif	fitness
itération	génération (croisement, mutation, sélection)

Le modèle MapDevo 3D (mobilité, friction)



Quelques enseignements

- évolution dirigée *couteuse*
 - grille de calcul
 - adaptative feedback
 - co-évolution
 - codage sioux
- une implantation biologique
 - applications irréalistes
 - applications sur la morphologie d'une colonie ?



Dictyostelium discoideum

Les machines fluides de la biologie synthétique

Une histoire qui aurait pu être parallèle...

- 1936 : la machine de Turing
- 1947 : premier transistor
- 1958 : premier circuit intégré
- 1962 : idée de réseau informatique
- 1967 ARPANET
- 1971 : premier microprocesseur
- 1972 : courrier électronique
- 89~90 : WWW
- 90 : début du trafic commercial sur internet
- Novembre 2009 : Cray Jaguar
1.75 petaflops (10^{15} flop/s)

- 1928 : l'ADN est le support de l'information génétique
- 1953 : structure de l'ADN
- 72~73 : séquençage de l'ARN
- 75 : séquençage de l'ADN
- 83 : PCR
- 2000 puis 2003 : séquençage du génome humain



1944 E. Schrödinger parle de « programme » et de « code génétique »

... mais dont les motivations furent très différentes

Des parallèles évidents : les mécanismes de

- stockage
- réplication
- communication
- modification

de l'information (génétique) sont étudiés en informatique (biologie).

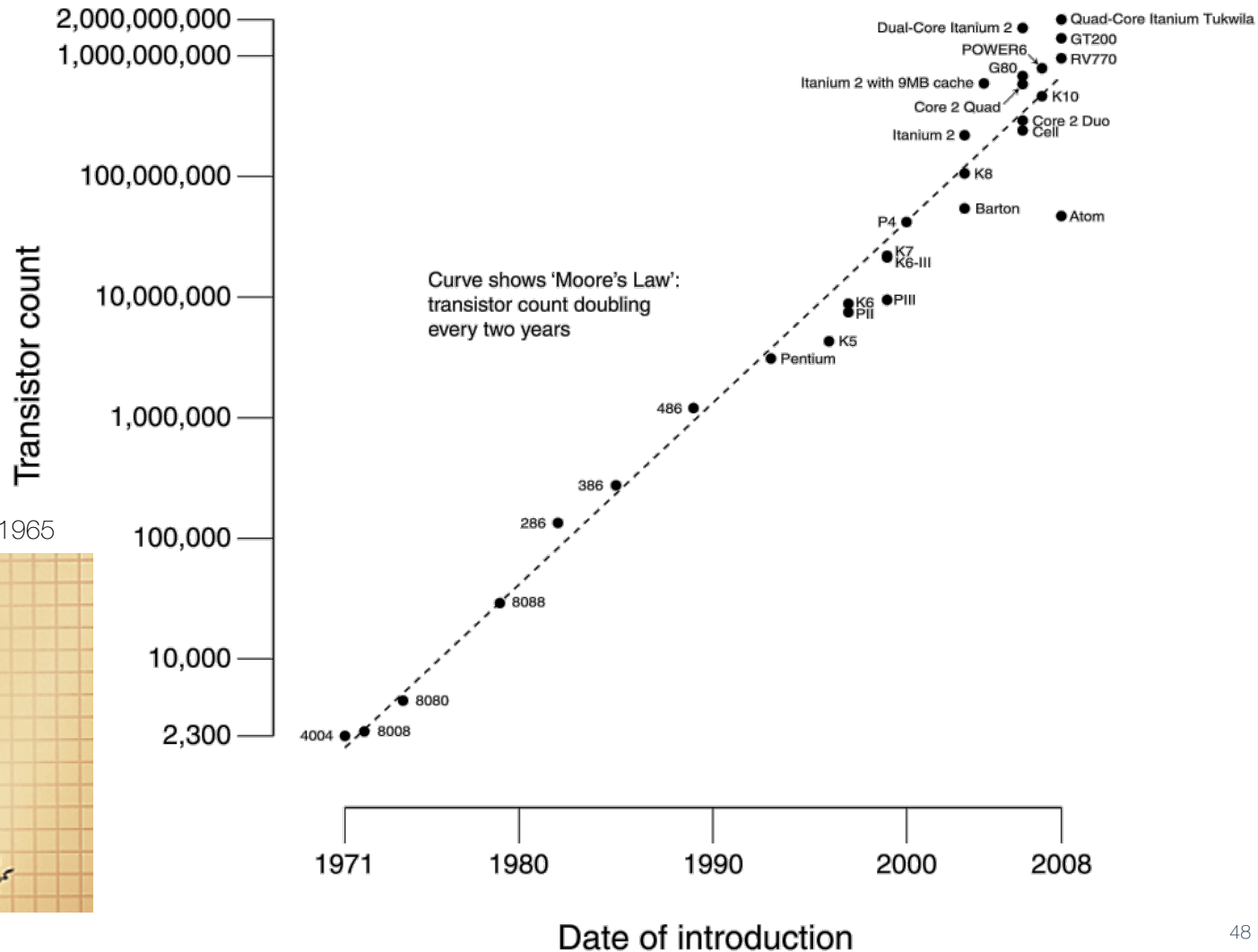
Mais il y a une grande différence entre les deux disciplines :

- L'informatique est une ingénierie d'objets artefactuels
elle développe tout de zéro : du matériel au logiciel
- La biologie est une science naturelle
elle analyse des système préexistant et produit par l'évolution

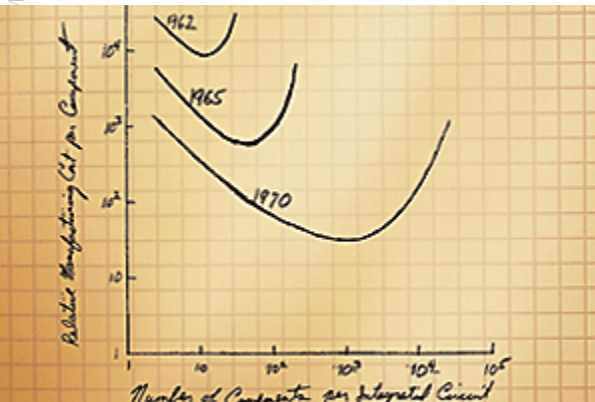
Pourtant la technologie permettant
l'organisation et la construction ou la synthèse
de machines biologiques exist/e/era

La loi de Monsieur Moore

CPU Transistor Counts 1971-2008 & Moore's Law



Graph original de Gordon Moore en 1965



Gordon Moore a calculé que...

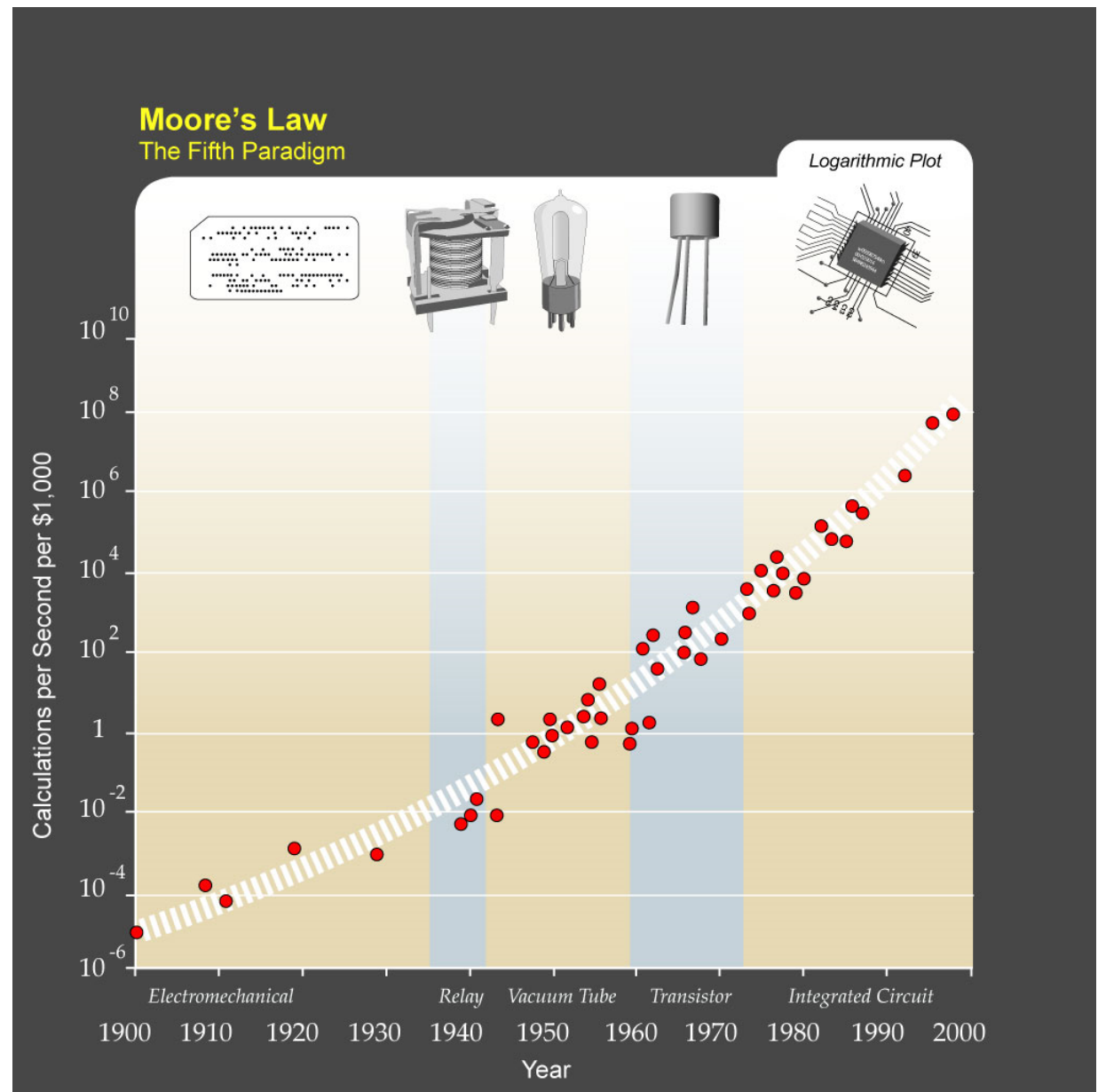


Pour fabriquer des circuits intégrant plus de 1 milliard de transistors par chip, l'industrie a dû réduire la taille d'un transistor à un point que 200 millions de ces transistors peuvent prendre place sur la tête d'une épingle.

Le prix d'un transistor sur un circuit intégré a constamment diminué depuis 1968. Certains ont calculé que le prix d'un transistor est à présent du même ordre de grandeur que le prix d'un caractère typographique imprimé dans un journal de grande diffusion.

It will lead to such wonders as animals connected to a central system for automobiles, and people with electronic equipment. The electronic revolution to be feasible today. The real challenge lies in the production of

Et cela remonte à avant les circuits intégrés...



du point de vue d'un informaticien, (et pas d'un biologiste !)

SI ON COMPARE À LA
BIOLOGIE MOLÉCULAIRE...

Les trois temps de la biologie moléculaire (1)

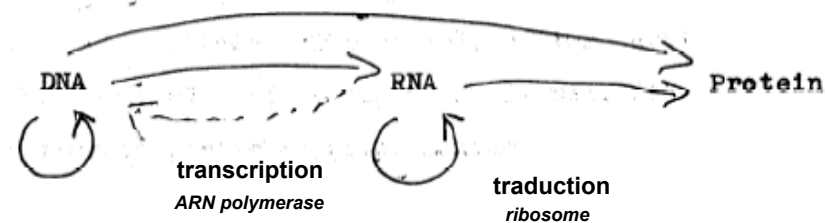
- F. Crick – 1956/58 – Dogme central de la Bio. Mol.

Ideas on Protein Synthesis (Oct. 1956)

The Doctrine of the Triad.

The Central Dogma: "Once information has got into a protein it can't get out again". Information here means the sequence of the amino acid residues, or other sequences related to it.

That is, we may be able to have



- Repris en 1970

NATURE VOL. 227 AUGUST 8 1970

561

Central Dogma of Molecular Biology

by
FRANCIS CRICK
MRC Laboratory of Molecular Biology,
Hills Road,
Cambridge CB2 2QH

The central dogma of molecular biology deals with the detailed residue-by-residue transfer of sequential information. It states that such information cannot be transferred from protein to either protein or nucleic acid.

Les trois temps de la biologie moléculaire (2)

● Analyse

- de la structure fine de l'ADN
 - topologie
 - irrégularité de la double hélice
 - ...

- de l'instabilité, de sa dynamique

- déplacement de gènes d'un chromosome à un autre

II : les développements : de la structure de l'ADN au séquençage des génomes et leur synthèse

- séquençage des génomes et leur synthèse
 - évènements de sa conformation spatiale
 - analyse qualitative et quantitative des protéines à $\neq$ stades cellulaires
 - séquençage des génomes (levure ⁽¹⁹⁹⁷⁾, C-elegans ⁽⁹⁸⁾, humain ⁽²⁰⁰¹⁾, ...)

● Synthèse

- Génie génétique (production par des levures de protéines humaines, ...)
- Copie et synthèse de séquences d'ADN
 - enzymes de restriction
 - ADN recombinant (insertion d'un brin d'ADN dans un ADN existant)
 - PCR ([Mullis 86], ...)
 - synthèse de gènes : chimie phosphoramidite [Beaucage & Caruthers – 1981]
(de 1.25\$/bp, jusqu'à 45 kbp, 2 semaines [2006])

Les trois temps de la biologie moléculaire (2)

Que manque-t-il à la biologie pour
investir le paradigme de l'ingénierie ?

Les trois temps de la biologie moléculaire (3)

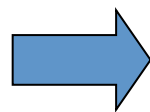
la révolution conceptuelle de l'ingénieriesation

Application à la biologie des principes de l'ingénierie :

- **standardisation** (définition de fonctions, normes, librairies, ...)
- **abstraction** (organisation des fonctions par niveau)
- **découplage** (conception / réalisation)

“The work on restriction nucleases not only permits us easily to construct recombinant DNA molecules and to analyse individual genes, but also has led us into the new era of ‘synthetic biology’ where **not only existing genes are described and analyzed** but also **new gene arrangements can be constructed and evaluated**.”

[Szybalski, W. & Skalka, A. Nobel prizes and restriction enzymes. Gene 4, 181--182 (1978)]

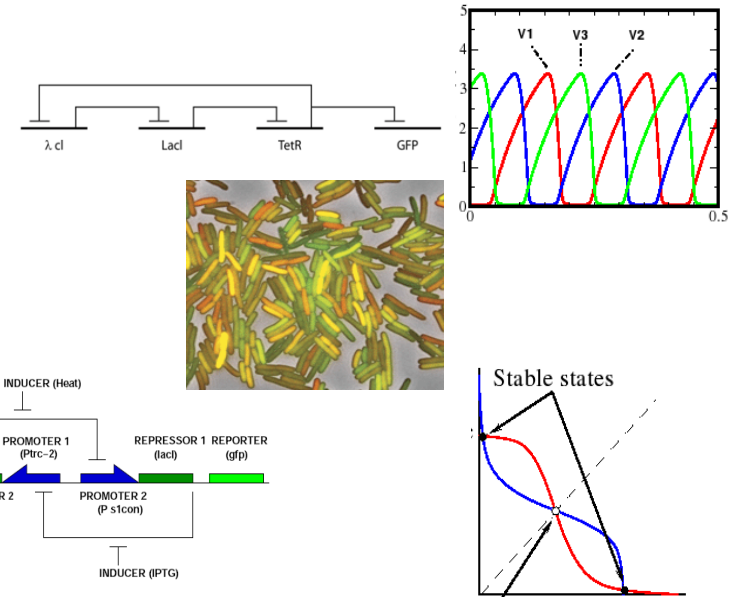


biologie synthétique

Cette approche fonctionne-t-elle ?

• Proof of concept

- repressilator [Elowitz & Leibler (2000) Nature 403, 335-338]
- flashing e-coli [Ferber (2004) Science 303, 158-161]
- toggle switch [Gardner & al (2000) Nature 403, 339-342]



• Capteurs

- détecter des substances [TNT (Gibbs (2004) Scientific American 75-81), caféine [iGEM]]
- détecter des rayonnements (biofilms – [Kobayashi et al. (2004) PNAS 10:8414-841], [iGEM'04])
- cell-cell communications [Weiss & al (2003) Natural Computing 2, 47-84]

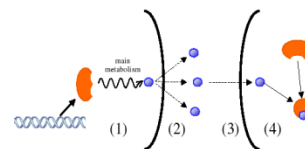


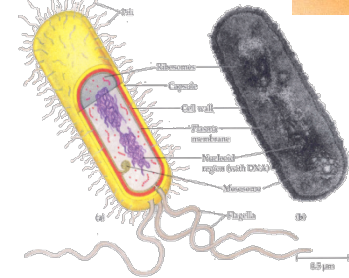
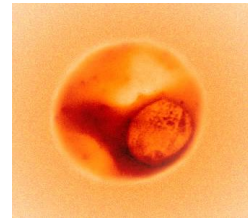
Figure 17. Cell-cell communication schematic: (1) The sender cell produces small signal molecules using certain metabolic pathways. (2) The small molecules diffuse outside the membrane and into the environment. (3) The signals then diffuse into neighboring cells (4) and interact with proteins in the receiver cells, and thereby change signal values.



Cette approche fonctionne-t-elle ?

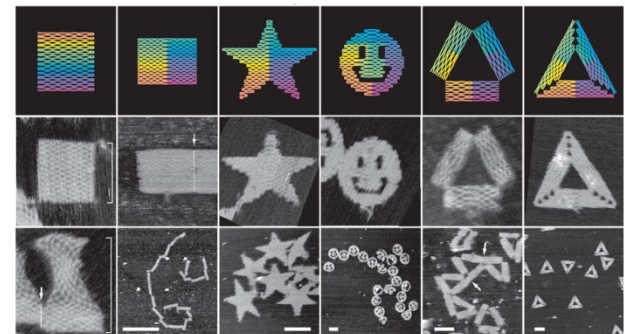
Bio-médical/Bio-ingénierie

- médicaments [Keasling's artemisinin [Martin & al (2003) Nature Biotech 21, 796-802]]
- adressage cellulaire [Anderson & al (2005) J. Mol Biol 335, 619-627]
- robots microbiens [Weiss, Knight DNA06 – LNCS 2054, 1-16]
- timed-drug delivery [F. Molina et al. – 2007]



Bio-computing

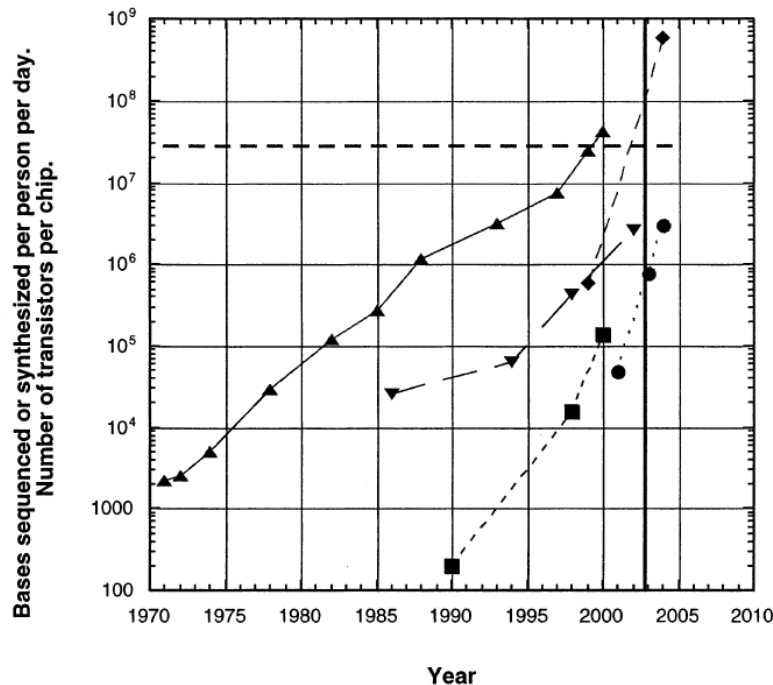
- inverter, porte nand, auto-repressor, bi-stable switch, oscillateurs... [R. Weiss]
- cell-cell communication, signal processing [R. Weiss]
- nanoscale shapes & patterns [Rothmund & Winfree]



De la loi de Moore à la nouvelle loi de Carlson

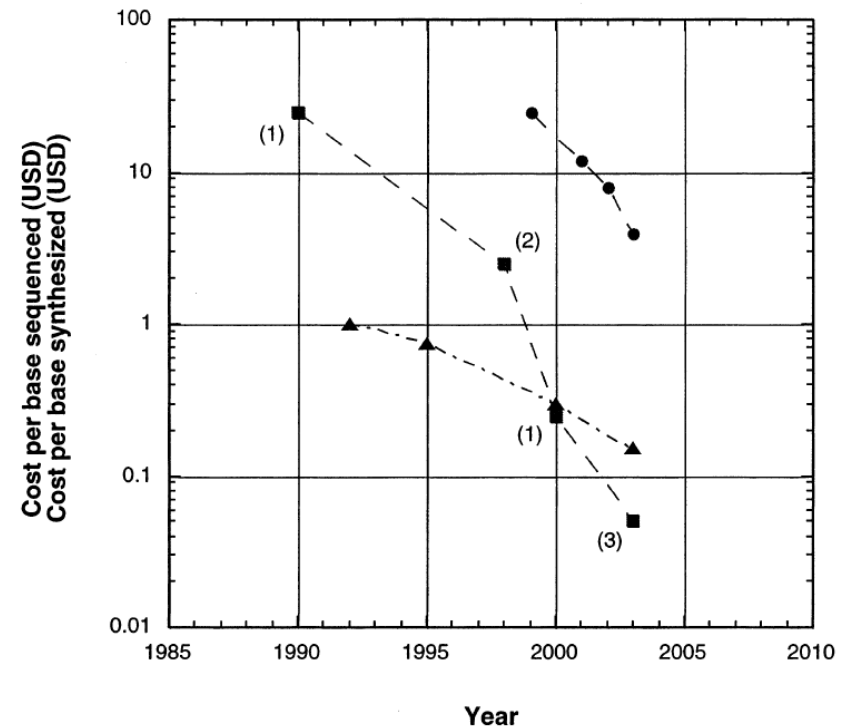
**Productivity Improvements in
DNA Synthesis and Sequencing**
(as of October, 2002)

- ▲ Number of transistors per chip
- ◆ ABI sequencers
- ◆ Pyrosequencing
- ABI synthesizers
- Egea GeneWriter
- E Coli DNA Polymerase III



Cost Per Base of Sequencing and Synthesis

- - cost per base sequenced
- ◆ - cost of short oligo synthesis
- - cost of gene synthesis

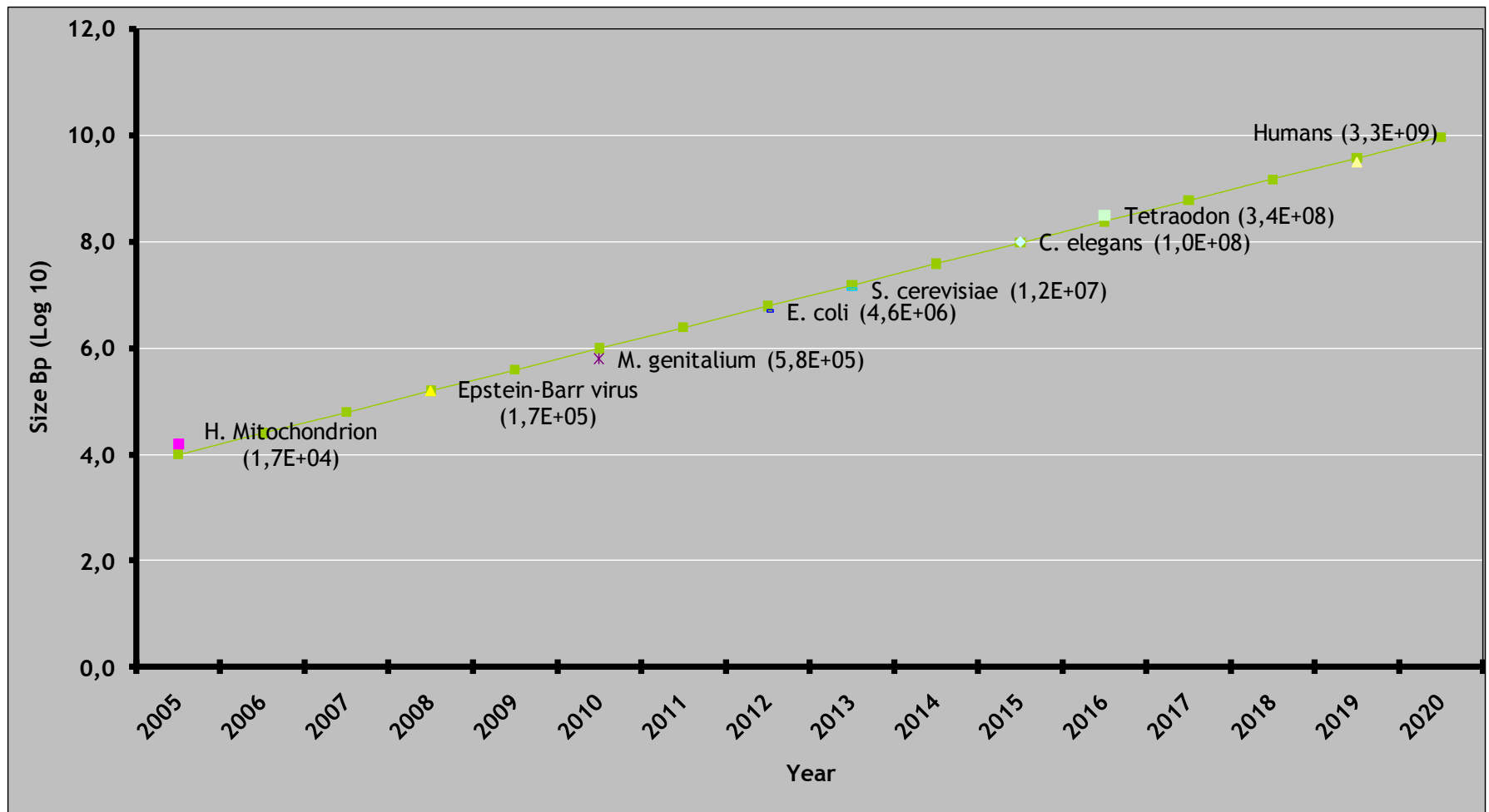


[Carlson, R. (2003).

The pace and proliferation of biological technologies.

Biosecurity and Bioterrorism: Biodefense Strategy, Practice and Science, 1(3), 203-214.]

Les projections suivent



2010 – 2015 : projection pour la capacité de synthèse d'un génome
(comparaison avec des génomes bactériens)

Quelles sont les bonnes
abstractions pour programmer
une cellule ?

Un code de bas niveau

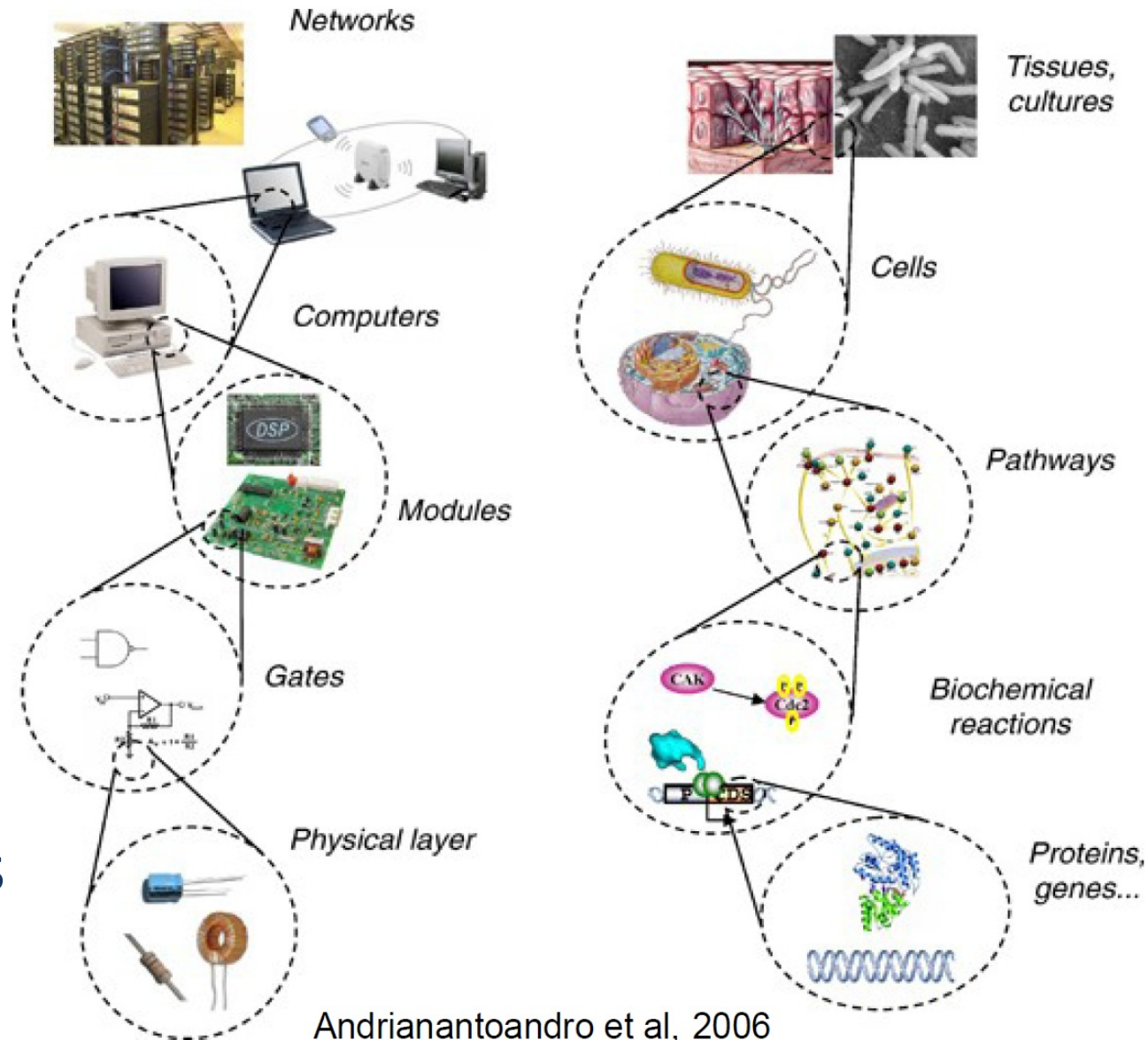
```

ACAGGGTGACCTAAGACCTTATTGTCTAATTGAGAAGGGCTTCGGAATTTGACCTAAG
ACCTTATTGTCTAATTGAGAAGGGCCGGTTGAACAGGGCTTCGGAATTTGACCTAAG
ACCTTATTGTCTAATTGAGATGACCTAAGACCTTATTGTCTAATTGAGAAGGAGGGCC
GGTTGAACAGGTGACCTAAGACCTTATTGTCTAATTGAGAAGGGCTTCGGAATTTGAC
CTAAGACCTTATTGTCTAATTGAGAAGGGCCGGTTGAACAGGGCTTCGGAATTTGACC
TAAGACCTTATTGTCTTGACCTAAGACCTTATTGTCTAATTGAGAAGGAATTGAGAAGG
GCCGGTTGAACAGGTGACCTAAGACCTTATTGTCTAATTGAGAAGGGCTTCGGAATTT
GACCTAAGACCTTATTGTCTAATTGAGAAGGGCCGGTTGAACAGGGCTTCGGAATTTG
ACTGACCTAAGACCTTATTGTCTAATTGAGAAGGGCTAAGACCTTATTGTCTAATTGAGA
AGGGCCGGTTGAACAGGGCTTCGGAATTTGACCTAAGACCTTATTGTCTAATTGAGAAG
GGCCGGTTGAACAGGTGACCTAAGACCTTATTGTCTAATTGAGAAGGGCTTCGGAATTT
GACCTAAGACCTTATTGTCTAATTGAGAAGGGCCGGTTGAACAGGGTGACCTAAGAC
ACCTTATTGTCTAATTGAGAAGGGCCGGTTGAACAGGGCTTCGGAATTTGACCTAAG
ACCTTATTGTCTAATTGAGATGACCTAAGACCTTATTGTCTAATTGAGAAGGAGGGCC
GGTTGAACAGGTGACCTAAGACCTTATTGTCTAATTGAGAAGGGCTTCGGAATTTGAC
CTAAGACCTTATTGTCTAATTGAGAAGGGCCGGTTGAACAGGGCTTCGGAATTTGACC
TAAGACCTTATTGTCTTGACCTAAGACCTTATTGTCTAATTGAGAAGGAATTGAGAAGG
GCCGGTTGAACAGGTGACCTAAGACCTTATTGTCTAATTGAGAAGGGCTTCGGAATTT
GACCTAAGACCTTATTGTCTAATTGAGAAGGGCCGGTTG

```


Casser la complexité

- Niveaux d'abstraction
- Hiérarchie des niveaux
- découplages
- modularité
- entrées/sorties



La proposition du MIT

MGS

(s)



Exponential Phase Wintergreen Generating Device (WGD)



abstraction



ch, ...)

eurs,

quantes, ...

nucléotides

Navigation bar: Back, Forward, Home, TAG, URL: http://parts.mit.edu/registry/index.php/Main_Page, Search: Google

Links: Post to CiteULike, La conjugaison - Con..., Google Agenda, Le Monde.fr : A la une, Michel Onfray, François-Mitterrand..., Create an account or log in

article | discussion | edit | history

Registry of Standard Biological Parts

Browse Parts by Type

- IGEM 2007 Parts Team
- IGEM 2006 Parts Team
- Parts by I

Featured Parts

Help & Documents

Registry Community

For information about IGEM 2007, see www.igem.org

Analysis

- Assembly Tool
- Help

search

Go Search

- We have a new [tutorial](#) for starting teams in the [Help](#) section
- IGEM 2007 team parts have new [parts sandboxes](#) and [favorites](#) available
- We are starting an editorial board for promoting well-defined and useful parts to BioBrick™ part status. To join this effort check the [BioBrick™ Part Program](#)

Report any bugs [here](#) | Request new features [here](#) | See new features [here](#)

Type de composants

Systems

-  Projects
-  Measurement ?
-  Measurement (Under Development) ?

Devices

-  Reporters ?
-  Inverters ?
-  Signalling ?
-  Protein Generator ?
-  Composite Devices ?
-  Measurement ?

Parts

-  Ribosome Binding Sites ?
-  Regulatory ?
-  RNA ?
-  DNA ?
-  Protein Coding ?
-  Protein Coding (Under Development) ?
-  Terminators ?
-  Conjugation ?

Chassis

-  E.coli Strains ?

Mammalian

Vectors

-  Plasmids ?

Other

-  Yeast Parts ?

A.B Construction Intermediate ?

-  PCR Primer ?

-  Tags ?

-  Other

-  Deleted

-  Bacteriophage T7



Reporters

For information on reporter coding regions, click [here](#).

Available constitutive reporters

[Edit](#)

-?-	Name	Description	Tag -?-	Excitation	Output	Length
A W	BBa_I13521	Ptet mRFP. switch off by tetracycline	None		RFP	923
A W	BBa_I13522	pTet GFP	None		GFP	937
A W	BBa_I13600	Tet with CFP reporter (without LVA tag)	None		CFP	940
A W	BBa_I13602	Tet operator with CFP reporter (with LVA tag) [R/Tc+]	LVA		cyan	979
A W	BBa_I13604	Reporter construct for constitutive YFP and inducible CFP	None		YFP, CFP	1888
A W	BBa_I13605	Reporter Construct (Ly-Tc-) for constitutive CFP and inducible YFP	None		CFP, YFP	1888
A W	BBa_J04430	GFP coding device switched on by IPTG	None		GFP	1083
A W	BBa_J04450	RFP Coding Device switched on by IPTG	None		RFP	1069

Other constitutive reporters

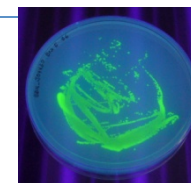
[Edit](#)

-?-	Name	Description	Tag -?-	Excitation	Output	Length
-----	------	-------------	------------	------------	--------	--------

Available other reporters

[Edit](#)

-?-	Name	Description	Tag -?-	Excitation	Output	Length
A W	BBa_E0241	PoPS to GFP converter	None		Green	795
A W	BBa_E0430	EYFP (RBS+ LVA- TERM) (B0034.E0030.B0015)	None		Yellow	878
A W	BBa_E0840	B0030.E0040.B0015	None		Green	878
A W	BBa_E7104	GFP Reporter Device for Dedicated Transcription Systems	None		Green	826
A W	BBa_I13601	Lac operator with CFP reporter (without LVA tag) [R/Lc-]	None		cyan	940
A W	BBa_I13607	Reporter Construct (Ly+Tc+)	LVA		cyan, yellow	1966
A W	BBa_I15016	B0032 ECFP	None		cyan	742



[article](#)
[discussion](#)
[edit](#)
[history](#)

[Main Page](#)

Part:BBa_J04430

Designed by Kristen DeCelle

DNA Available
 Experience: Works

Entered: 2005-06-09

GFP coding device switched on by IPTG

Contains IPTG inducible promoter, an RBS, GFP (no LVA tag), and a terminator.

Usage and Biology

This part will be made using the standard ligation techniques.

Sequence and Features

Format:	Subparts	Ruler	SS	DS	Search:	Length: 1083 bp	Context: Part
only							
LacI	GFP						Get selected sequence
R001B003B004B001B0012							

Pictures

Click thumbnail for larger picture and more information

Un device



Sequenc

Form

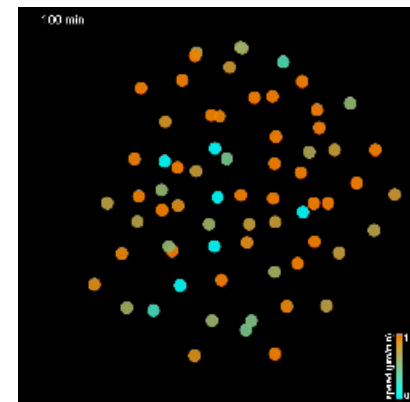
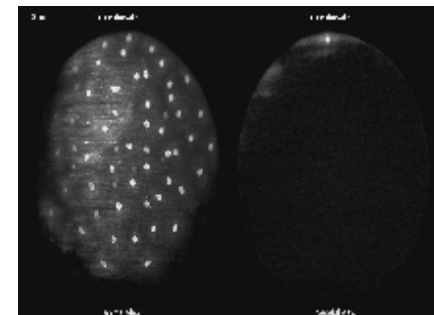
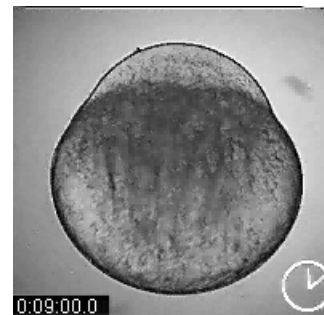
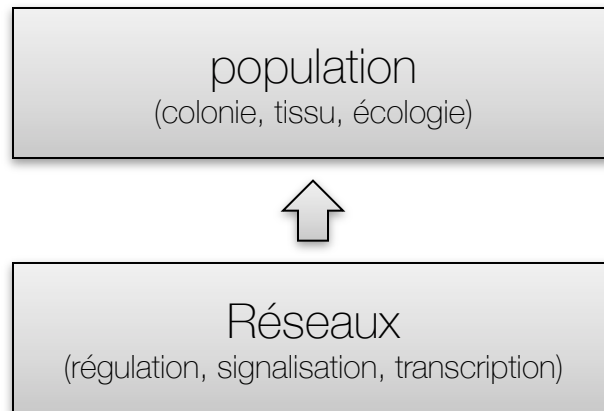


Format:	Subparts	Ruler	SS	DS	Search:	Length: 1083 bp	Context: Part only	Get selected sequence		
	1	11	21	31	41	51	61	71	81	91
1	caatacgcaa accgcctctc cccgcgcgtt ggccgattca ttaatgcagc tggcagcaca ggtttcccga ctggaaagcg ggcagtgc gcaacgcaat									
	R0010									
	CAP									
101	taatgtgagt tagctcactc attaggcacc ccaggcttta cactttatgc ttccggctcg tatgttgtgt ggaattgtga gcggataaca atttcacaca									
	R0010									
	CAP -35 -10 LacI									
201	tactagagaa agaggagaaa tactagatgc gtaaaggaga agaacttttc actggagttg tcccaattct tgttgaatta gatggtgatg ttaatgggca									
	B0034 E0040									
301	caaattttct gtcagtggag aggggtgaagg tgatgcaaca tacggaaaac ttacccttaa atttatttgc actactggaa aactacctgt tccatggcca									
	E0040									
401	acacttgta ctactttcgg ttatggtgtt caatgctttg cgagataccc agatcatatg aaacagcatg actttttcaa gagtgccatg ccgaagggtt									
	E0040									
501	atgtacagga aagaactata tttttcaaag atgacgggaa ctacaagaca cgtgctgaag tcaagtttga aggtgatacc cttgttaata gaatcgagtt									
	E0040									
601	aaaagggtatt gattttaaag aagatggaaa cattcttga cacaatttgg aatacaacta taactcacac aatgtatata tcatggcaga caaacaaaag									
	E0040									
701	aatggaatca aagttaactt caaaattaga cacaacattg aagatggaag cgttcaacta gcagaccatt atcaacaaaa tactccaatt ggcatggcc									
	E0040									
801	ctgtcctttt accagacaac cattacctgt ccacacaatc tgccctttcg aaagatccca acgaaaagag agaccacatg gtccttcttg agtttgaac									
	E0040									
901	agctgctggg attacacatg gcatggatga actatacaaa taataatact agagccaggc atcaataaaa acgaaaggct cagtcgaaag actgggcctt									
	E0040 B0010									
1001	tcgttttata tgttgtttgt cgggtgaacgc tctctactag agtcacactg gtcaccttc ggggtggcct ttctgcgttt ata									
	B0010 B0012 T7 TE Stop PolyA									

Quelles sont les bonnes abstractions ?

La composition des biobricks ne résout pas tout :

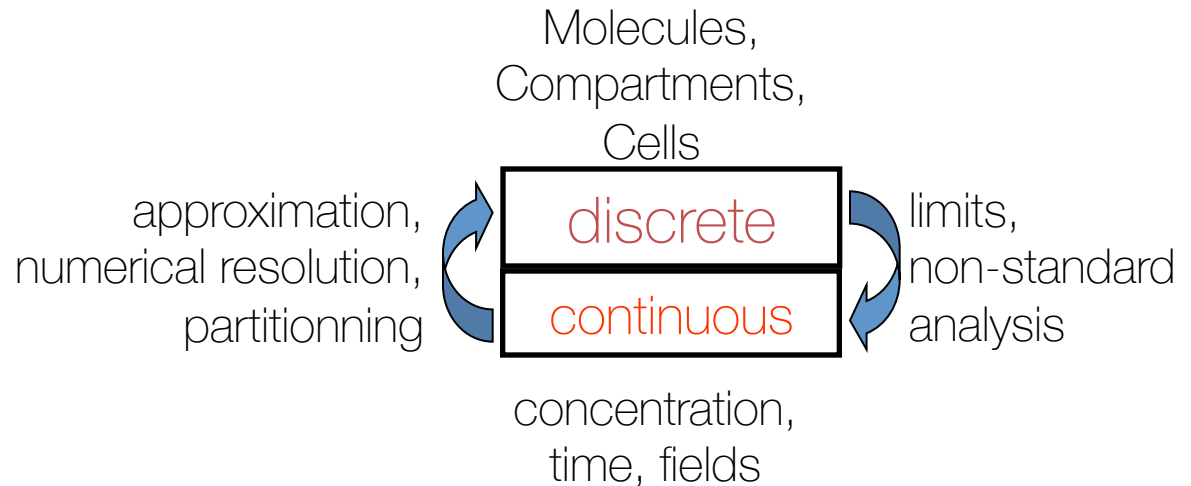
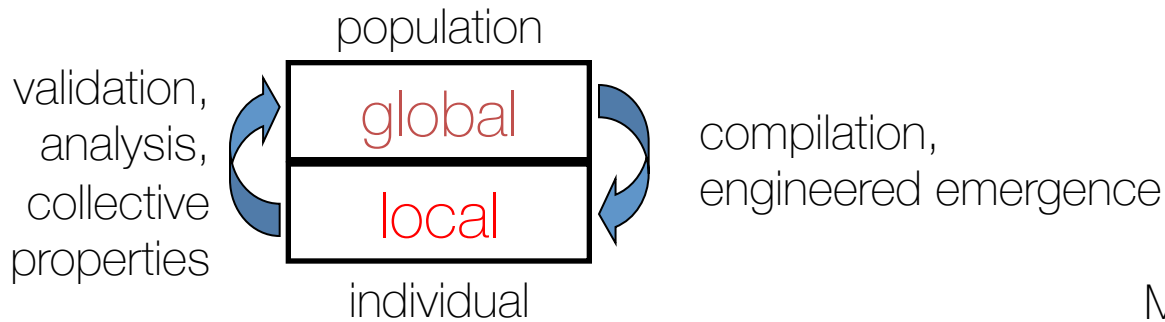
- une cellule vs. une population
(colonie, biofilm, écologie, tissu, organisme)
- ➔ comportement global vs. comportement local
- ➔ abstraction spatiale
- ➔ morphogénèse



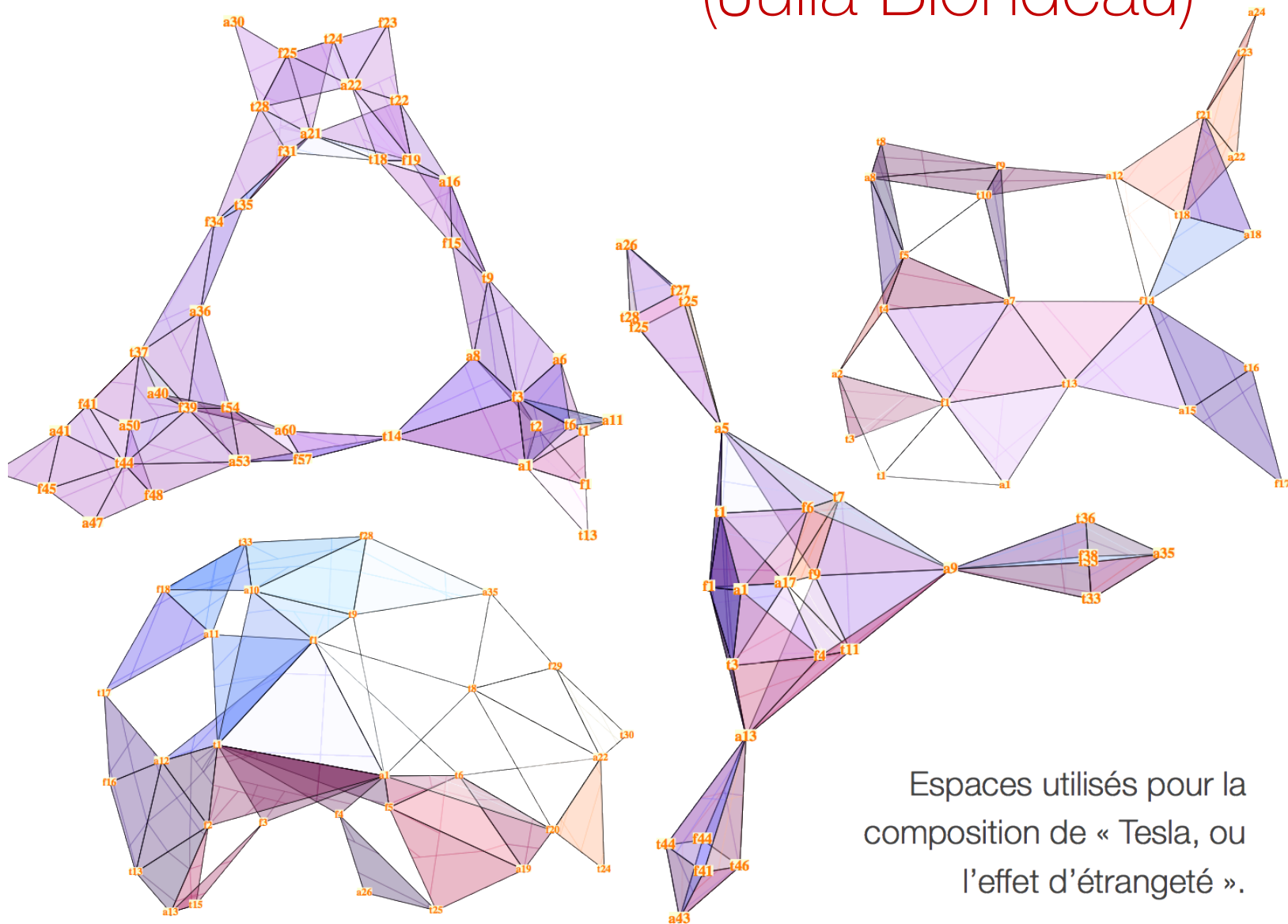
<http://www.embl.de/digitalembryo>

En guise de conclusion...

Comprendre



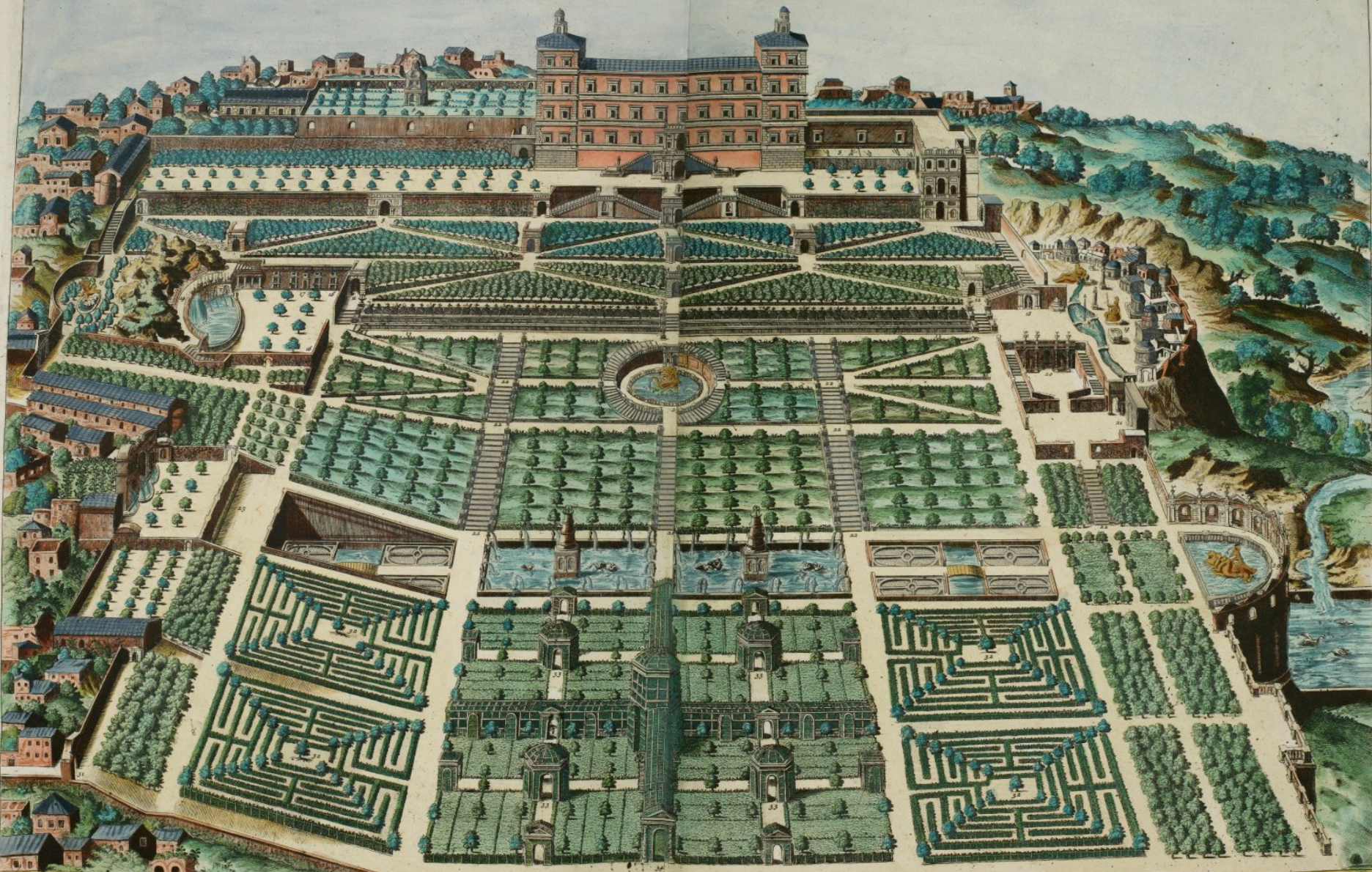
La morphogenèse d'une pièce musicale (Julia Blondeau)



Espaces utilisés pour la
composition de « Tesla, ou
l'effet d'étrangeté ».

HORTVS ET PALATIVM ATESTINORVM TYBVRI.

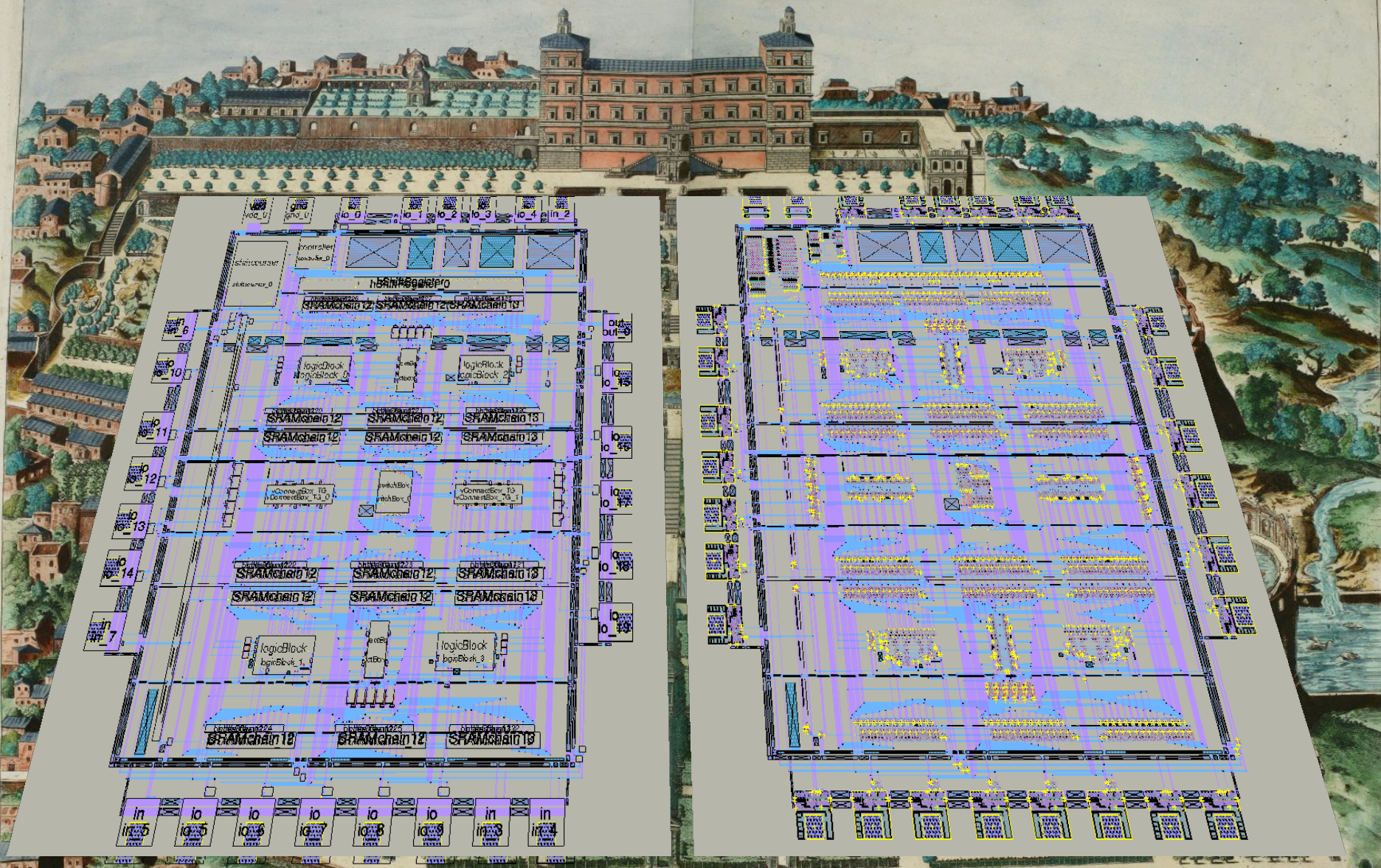
LE JARDIN ET LE PALAIS A CÔTÉ DE LA VILLE DE TIVOLI. se vend A'AMSTERDAM Chez PIERRE MORTIER Avec Privilège.



- | | | | | |
|----------------------------------|---|---|-----------------------------------|-------------------------|
| 1. Le Palais | 9. Jeu de paume | 17. Grotte de Venus | 25. Fontaine des Ombres | 33. Jardin des Simples |
| 2. Le jardin Secret | 10. Siège du Palais | 18. Grotte de Diane | 26. Echelle de Taurin | 34. L'entrée du jardin |
| 3. La Fontaine de la Licorne | 11. Fontaine de Vénus | 19. une grande Fontaine qui représente Rome | 27. Fontaine de Progne | 35. Les bords du jardin |
| 4. Parterres et quatre Fontaines | 12. Deux Fontaines d'Escalier et d'Église | 20. Deux Fontaines de Bacchus | 28. Fontaine de la Sibylle | |
| | | | 29. Fontaine d'Amours | |
| | | | 30. Réservoirs de Poissons | |
| | | | 31. autres réservoirs de Poissons | |
| | | | 32. Les Laboureurs | |

HORTVS ET PALATIVM ATESTINORVM TYBVRI.

LE JARDIN ET LE PALAIS A CÔTÉ DE LA VILLE DE TIVOLI. se vend A'AMSTERDAM Chez PIERRE MORTIER Avec Privilège.



- | | | | | | | |
|----------------------------------|--|---|--|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1. Le Palais | 9. Fontaine d'Archaise | 41. Grotte de Venus | 51. Fontaine des Ombres | 65. Grottes de la Sybille | 79. Fontaine de Neptune | 88. Jardins des Simples |
| 2. Le jardin Secret | 10. Fontaine de Pandore | 42. Grotte de Diane | 52. Echelle de Taurin | 80. Fontaine de Venus | 89. L'Entrée du jardin | |
| 3. La Fontaine de la Licorne | 11. Fontaine de Pallas | 43. Fontaine de Diane | 53. Fontaine de Progne | 90. Fontaine de Tiber | 90. Les Laboratoires | |
| 4. Parterres et quatre Fontaines | 12. Deux Fontaines d'Escalier et d'Esplanade | 44. une grande Fontaine qui represente Rome | 54. Fontaine de la Déesse de la Nature | 91. autres réservoirs de Poissons | | |
| | | 45. Fontaine des Epaves | | | | |

Thanks

- Antoine Spicher
- Olivier Michel
- Collaborations
 - A. Lesne (IHES, stochastic simulation)
 - P. Prusinkiewicz (Calgary, declarative modeling)
 - P. Barbier de Reuille (meristeme model)
 - C. Godin (CIRAD, biological modeling)
 - R. Doursat (ISC, morphogenetic engineering)
 - S. Stepney (York, unconventional computation)
- G. Malcolm (Liverpool, rewriting)
- J.-P. Banâtre (IRISA, programming)
- F. Delaplace (IBISC, synthetic biology)
- P. Dittrich (Jena, chemical organization)
- J. Echeveste (IRCAM, synchronisation)
- A. Cont (IRCAM, interaction)
- J. Blondeau (IRCAM, composition)
- H. Klaudel (IBISC, model-checking)
- G. Berry (Collège de France, temps)

...

