

Vie Artificielle

- Théotime Calandra du groupe *La Paillasse*, basé à Vitry dans le hackerspace /tmp/lab
www.lapaillasse.com

Conférence de Robotique Caprica 3

Document Open Source (GNU GPL 3).

- www.lsdlive.org - theotime.calandra@gmail.com



Entre Vivant et non Vivant

- Qu'est ce qui est vivant, qu'est ce qui ne l'est pas ?
- Qu'est ce qui est pensant, qu'est ce qui ne l'est pas ?
- Comment la vie émerge du non vivant?
- Quelles sont les limites potentielles d'un être vivant?



Entre Vivant et non Vivant

- Démontrer l'émergence de la Pensée ou de l'Intelligence dans un système de Vie Artificielle.
- Évaluer l'influence de la machine sur la prochaine transition à venir.



I. Notions du vivant, biologie théorique

- Propriété du vivant
- Thermodynamique du vivant
- Concept de non-linéarité
- Concept d'émergence



Propriétés du vivant

- Bedau : *identité, énergie libre, support informationnel héritable* (au sens fonctionnel : conteneur, métabolisme, gènes). *Évolution sans limites.*
- Lamarck : *Organisation, Régulation.*
- X. Bichat : "ensemble de fonctions qui résistent à la mort" (physiologique)
- Morange : 1) définir les caractéristiques; 2) dresser la barrière vivant/non vivant en remontant à la genèse.



Thermodynamique du vivant

- Organisation spontanée, stable, résistant aux faibles perturbations externes (le système revient à l'équilibre).
- Travaux de référence
 - Cellule de Bénard (1900)
 - *What is Life* Schrodinger (1946)



Approche Autopoietique

- Maturana & Varela



Concept de non-linéarité

- Phénomène non linéaire, théorie du chaos
 - Peut être *déterministe* ...
 - ... mais *non prédictible*
- Analyse descendante (*top-down*) : décomposer les composants puis analyser chacune des unités indépendamment. *Impossible!*
- Analyse ascendante (*bottom-up*) : partir des composants pour reproduire le système/phénomène.
- *Holisme* : Analyser comme un tout.



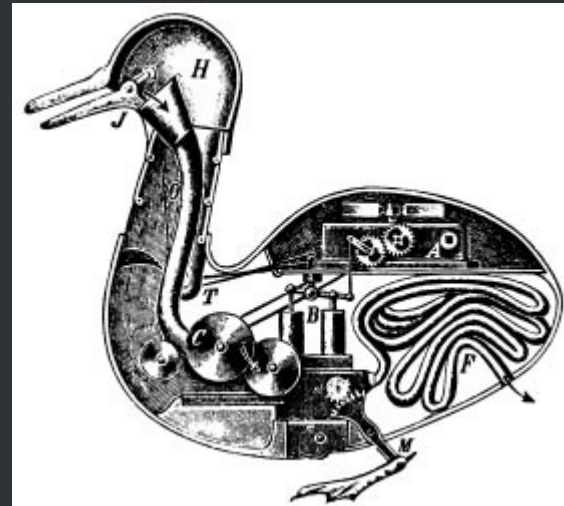
Concept d'émergence

- Minsky : "Certains ensembles sont plus que la somme de leurs parties."
- Comportement global résultant de comportements individuels.
- Système complexe résultant de règles simples.



II. Vie Artificielle

- Aperçu – Histoire – Automate Cellulaire
- Évolution & Optimisation
- Organismes Digitaux
- Biomimétisme & Intelligence Artificielle
- Biologie Synthétique

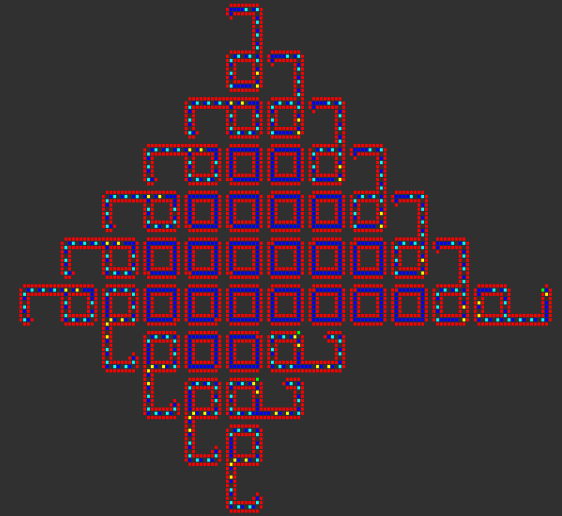
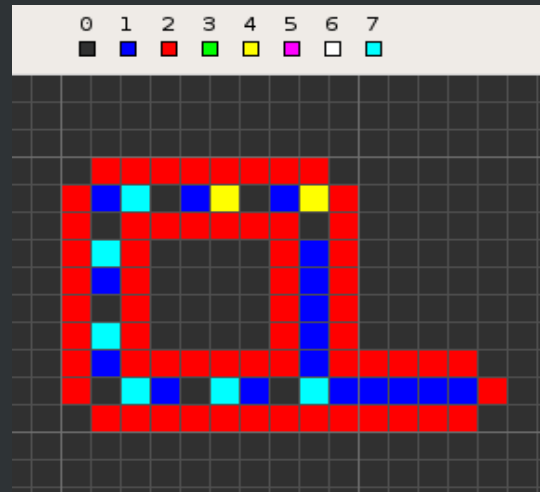
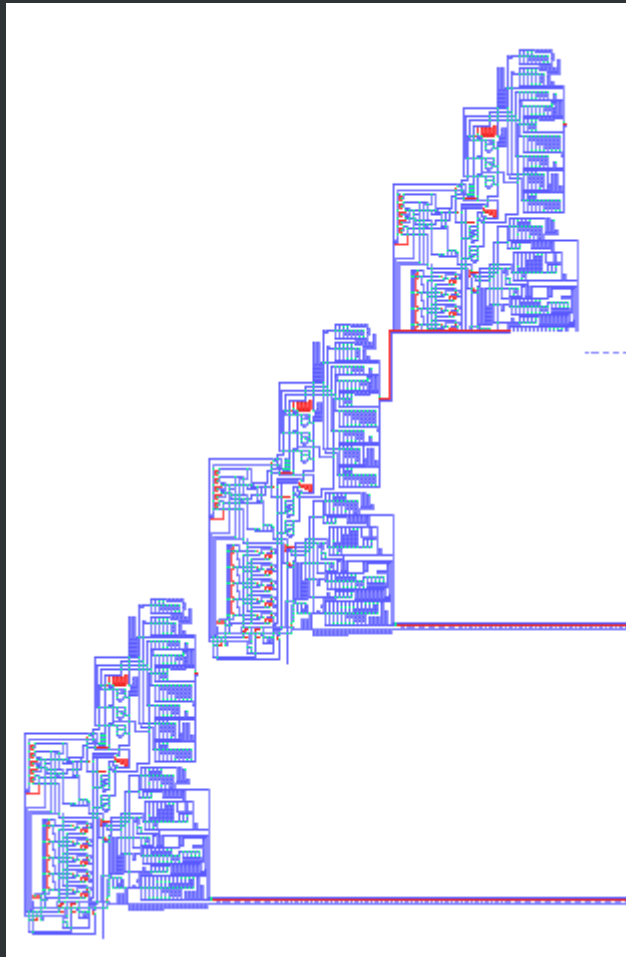


Aperçu - Histoire

- J. De Vaucanson (XVIIIe) : Connaissances en anatomie lui permettent de reproduire les mécanismes du vivant.
- J. Von Neuman (1940) : Machine auto-répliatrice, approche théorique du vivant. *Kinématon*, Automate Cellulaire.
- J. Conway (1970) : *Jeu de la vie*. "Monde complexe dérivant de règles simples".
- C. Langton (1980) : Boucle de langton, automate cellulaire auto-répliateur simplifié. *International Conference on the Synthesis and Simulation of Living Systems* (Alife I, 1987)

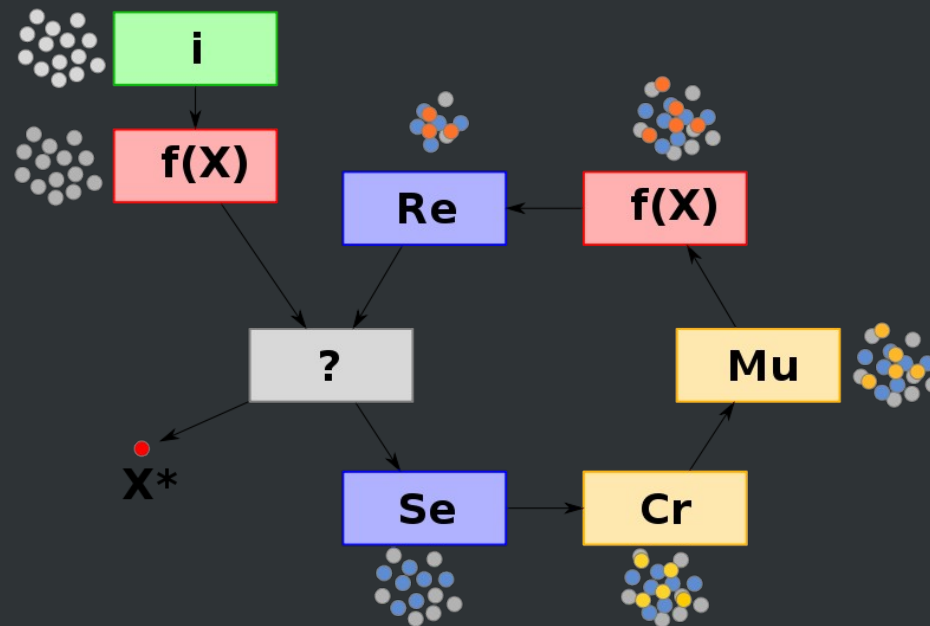


Aperçu - Histoire



Évolution & Optimisation

- Algorithme évolutionnaire

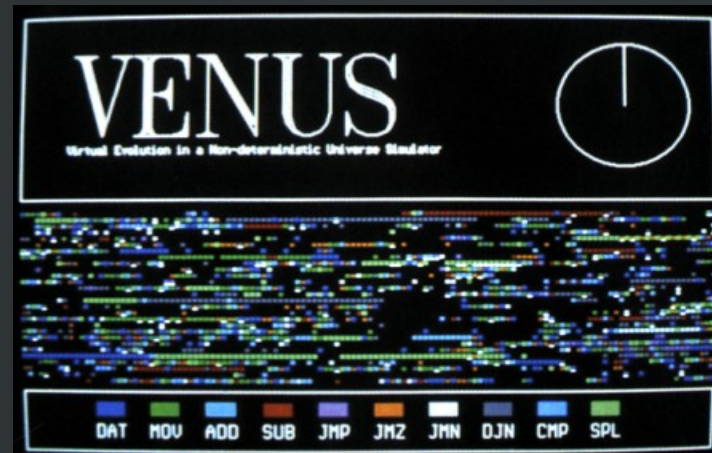
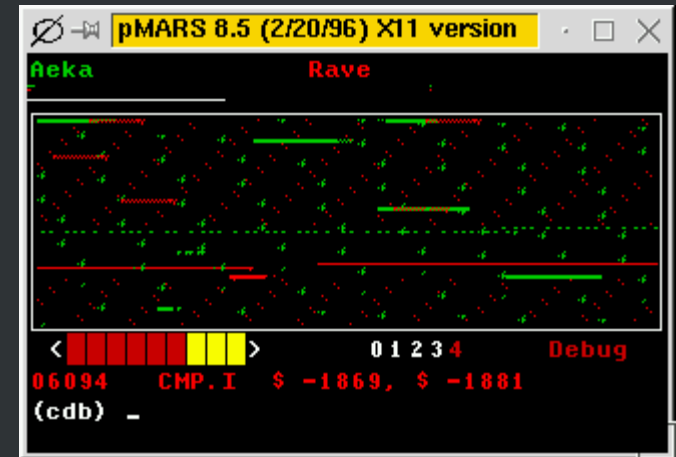


Un algorithme évolutionnaire utilise itérativement des opérateurs de sélections (en bleu) et de variation (en jaune). i : initialisation, $f(X)$: évaluation, ? : critère d'arrêt, Se : sélection, Cr : croisement, Mu : mutation, Re : remplacement, X^* : optimum.



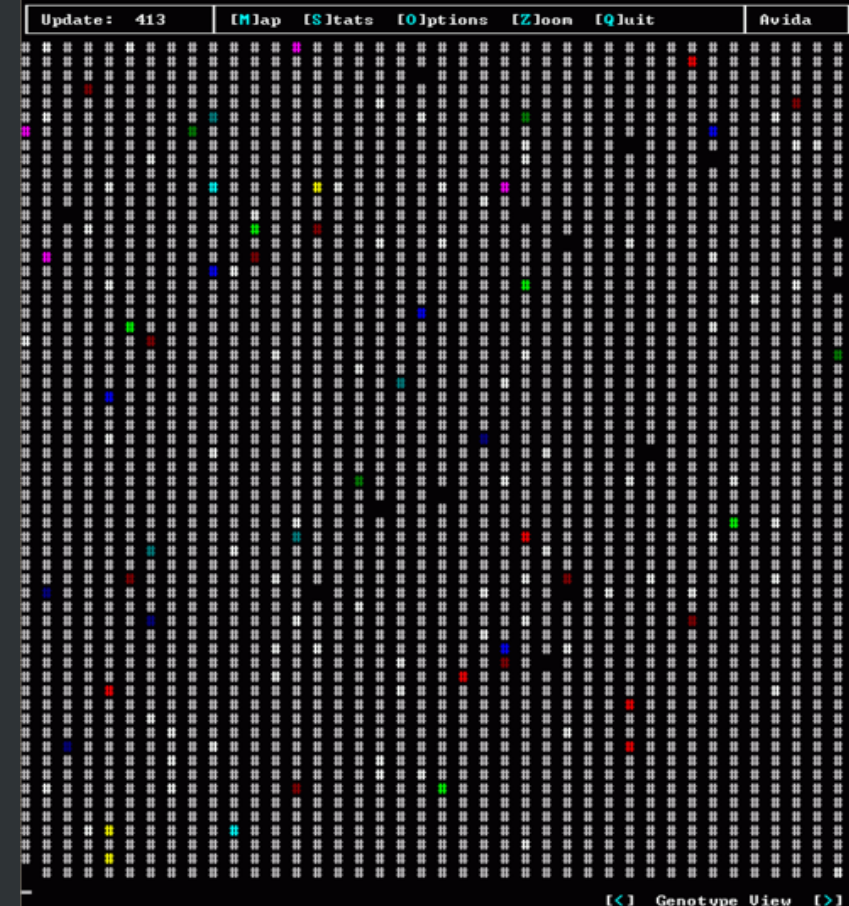
Organismes Digitaux

- Core War (A.K Dewdney)
- Vénus (S. Rasmussen)
- Tierra (T. Ray)
- Avida (C. Adami)



Organismes Digitaux (2)

```
GA E:\Programme\terraWin\terra\terra.exe
InstExec = 57.695631 Cells = 594 Genotypes = 297 Sizes = 78
Extracted = 0071aaz @ 10 normal
36abh 70 |*****+
69abp 31 |*****
36abz 17 |*****
40acd 17 |*****
37abz 14 |*****
  acm  9 |*****
  ach  11|*****
38aem  7 |*****
45adc  9 |*****
74aax  9 |*****
36acu  8 |*****
71aaz  8 |*****
36aci  5 |***
44abu  6 |****
39adv  5 |***
36acs  7 |*****
70abn  5 |***
36acp  4 |***
40acm  4 |***
44abo  4 |***
46acl  2 |**
68abg  4 |***
Press Any Key for Menu ...
```

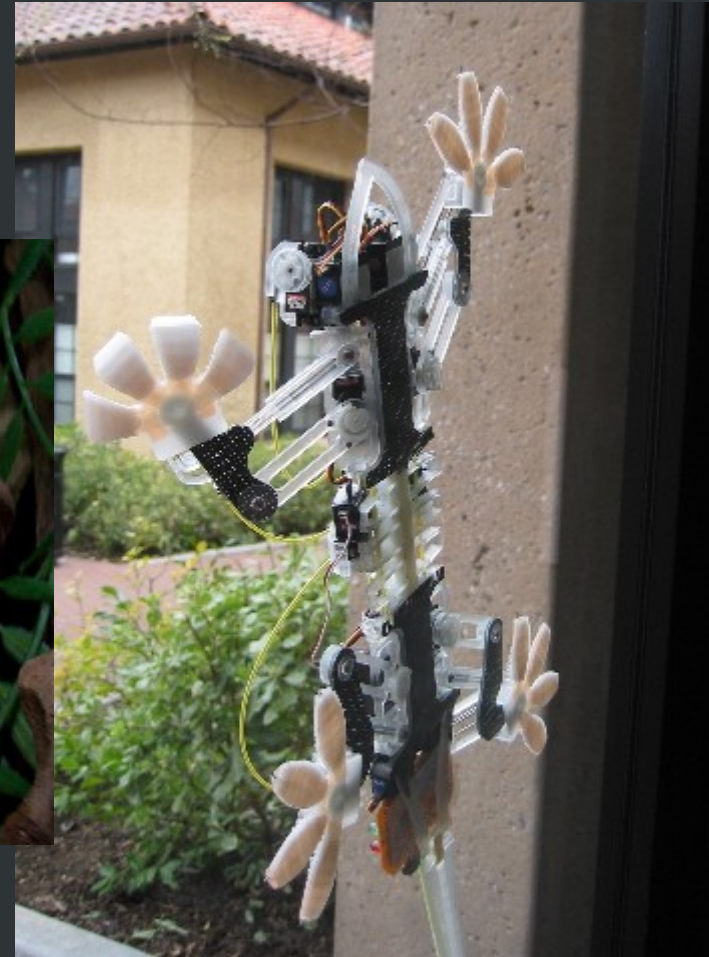


Organismes Digitaux

- Les Organismes Digitaux ont un aspect ludique (comme dans *Core War* ou *SPORE* www.spore.com)
- Utilisation du principe *Crowdsourcing* (voir *Foldit* : www.fold.it) aux systèmes d'organismes digitaux dans le but de créer un écosystème plus complexe.
- Intervention de *citoyens lambda* dans la science



Biomimétisme & Intelligence Artificielle



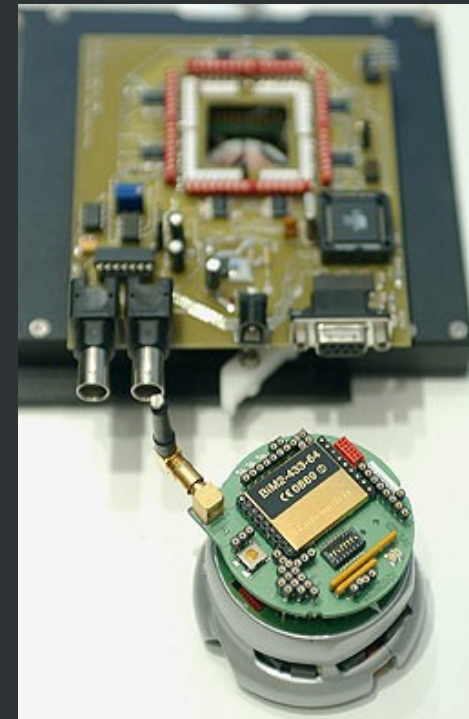
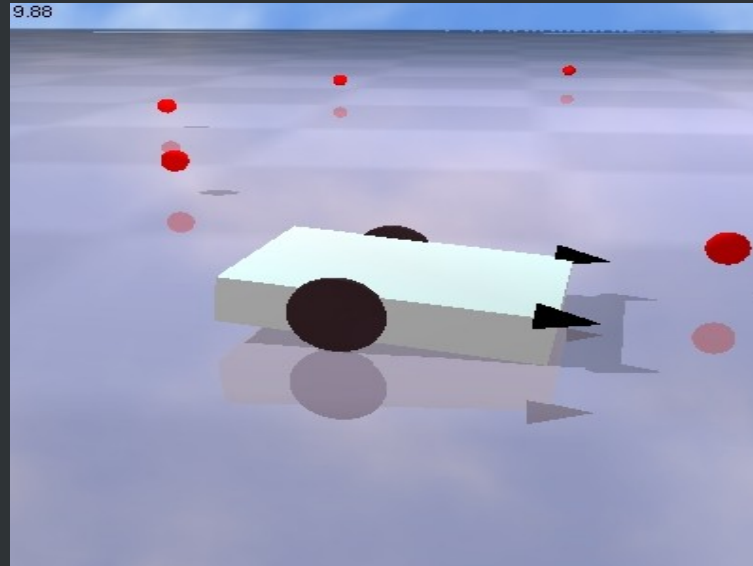
Boids

- Émergence : reproduction d'un comportement global à partir de règles simples.
 - Séparation
 - Alignement des vitesses
 - Cohésion



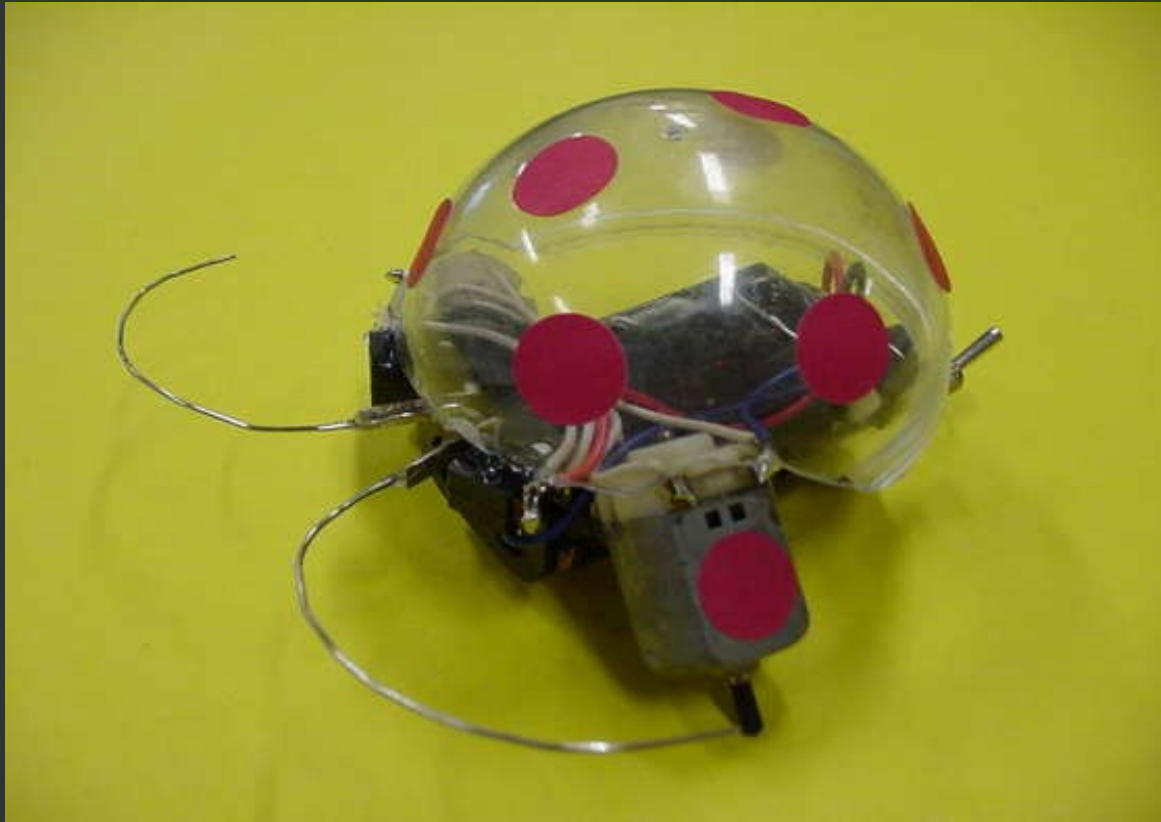
Animat

- Adaptation à un environnement = Autonomie
- Imitation de comportements animaux
- Intelligence Artificielle Située (IAS)
- Hybrot



BeetleBot

- Animat : reproduction de comportement animal.



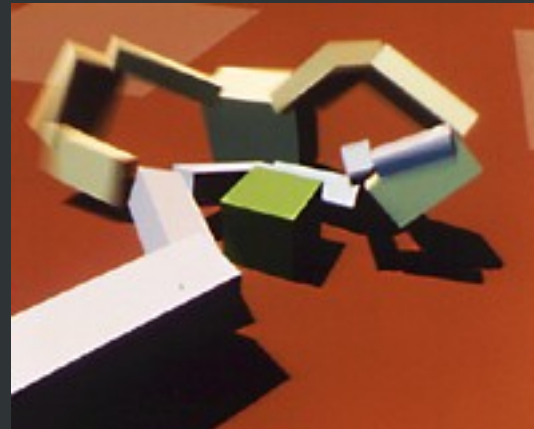
Biomimétisme Artistique

- Theo Jansen : <http://www.strandbeest.com/>



Robotique évolutionnaire

- Évolution des structures cognitives (Algorithme Génétique, reprogrammation FPGA etc.)
- Évolution de la morphologie (Karl Sims)
 - Réalisation physique : Lipson & Pollack M. YIM : PolyBot.



Interaction avec l'environnement, interface avec l'électronique

- Qu'il soit à différents niveaux, une des grandes particularités du vivant est l'interaction avec son environnement.
 - Bas niveau : métabolisme chimique [ex: bactérie]
 - Haut niveau : processus cognitifs [ex: animal]
- Adaptation à l'environnement.
- *Entrées et Sorties* vers cet environnement,
Réponses à des stimuli.



Biologie Synthétique

- Organisme Vivant Artificiel (C. Venter)
- Standardisation & approche de l'ingénieur, approches mécaniques et électroniques du vivant (T. Knight)
- Compétition iGEM
- "Programmer" le vivant



Biologie Synthétique

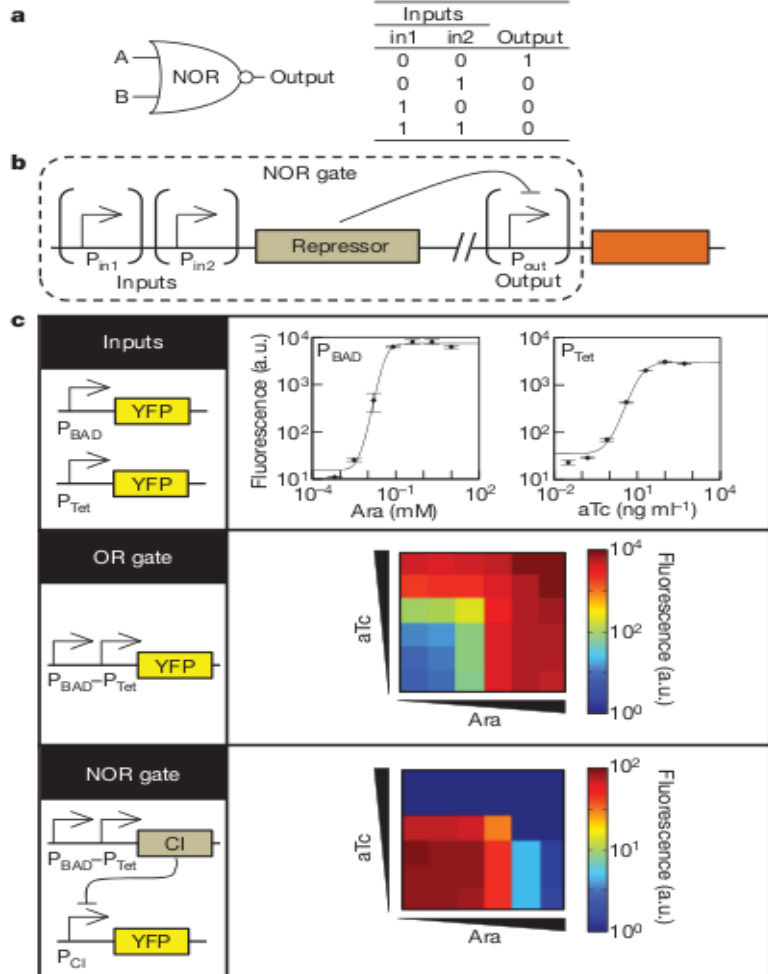
Table 1
Proposed regulatory motifs classified on the basis of dynamic function.

| Motif | Function | Mechanisms | Examples |
|----------------------------|---|---|---|
| Switches | Digital control Computation Signal integration, amplification and noise rejection | Transcriptional control, cooperativity [23,95] Zero-order [26] cascades [24,25] Multi-input [26] Cross-repressive feedback [30,31] Positive feedback [32,33**,35] Invertible DNA and ratio-based control [29*] | <i>fim</i> in <i>E. coli</i> Phage lambda Quorum sensing MAPK and c-Jun amino terminal kinase (JNK) pathways in <i>Xenopus</i> Synthetic switches [31,33**] |
| Oscillators | Temporal/sequence loop Synchronize to environment Reject noise Carry signal | Relaxation, harmonic, ring oscillators Negative feedback with high gain or a delay Positive feedback Combinations of positive and negative feedback [42,45,54]. | Cell cycle cAMP Circadian rhythms Glycolysis [43] Cytosolic Ca ²⁺ Synthetic oscillators [46,96-98] |
| Biphasic amplitude filters | Tune phenotype to environmental niche Auto-regulation Computation Amplitude multiplexing | Differentially activating binding affinity clusters [29*] Scaffolds [41] Concentration-dependent pathway activation/repression [39] | <i>fim</i> temperature tuning [29*,99,100] glIBDF [37] TBP [38] |
| Bandpass frequency filters | Interpret dynamic signals Filter noise Demodulate Demultiplex | Third-order chemical reactions Excitable media bandpass filter [53] Integral feedback [55] Saturated kinase and phosphatase activity Receptor desensitization [50,54,101] | Interleukin-2 activation by Ca ²⁺ [52] Neural growth cones cAMP frequency decoding |
| Memory | Event tracking Sequencing Process control Temporal integration of signals | Multi-stability DNA inversion Receptor methylation DNA methylation [102] Histone acetylation Phosphorylation times [103] Hysteresis and delays [29*,63*] | Developmental switches Cell cycle Sic1 [103] Shufflons Type 1 pilation, Chemotaxis |
| Noise filters | Precise regulation from noisy components. | Negative feedback Redundancy Cascades Checkpoints Delay lines [36,58,104] Frequency filters [53] | MAPK cascades [105] Cell cycle and flagellar synthesis checkpoints; Negative feedback [33**] |
| Noise amplifiers | Population heterogeneity, antigenic variation. | Noise controlled bistability [30] DNA rearrangement Slipped-strand mispairing [34] | Lambda phage [30] <i>pap</i> <i>fim</i> <i>hls</i> Shufflons [34] |

- *Motifs, modules and games in bacteria.* by D. Wolf. Current Opinion in Microbiology, Vol. 6, No. 2. (April 2003), pp. 125-134.



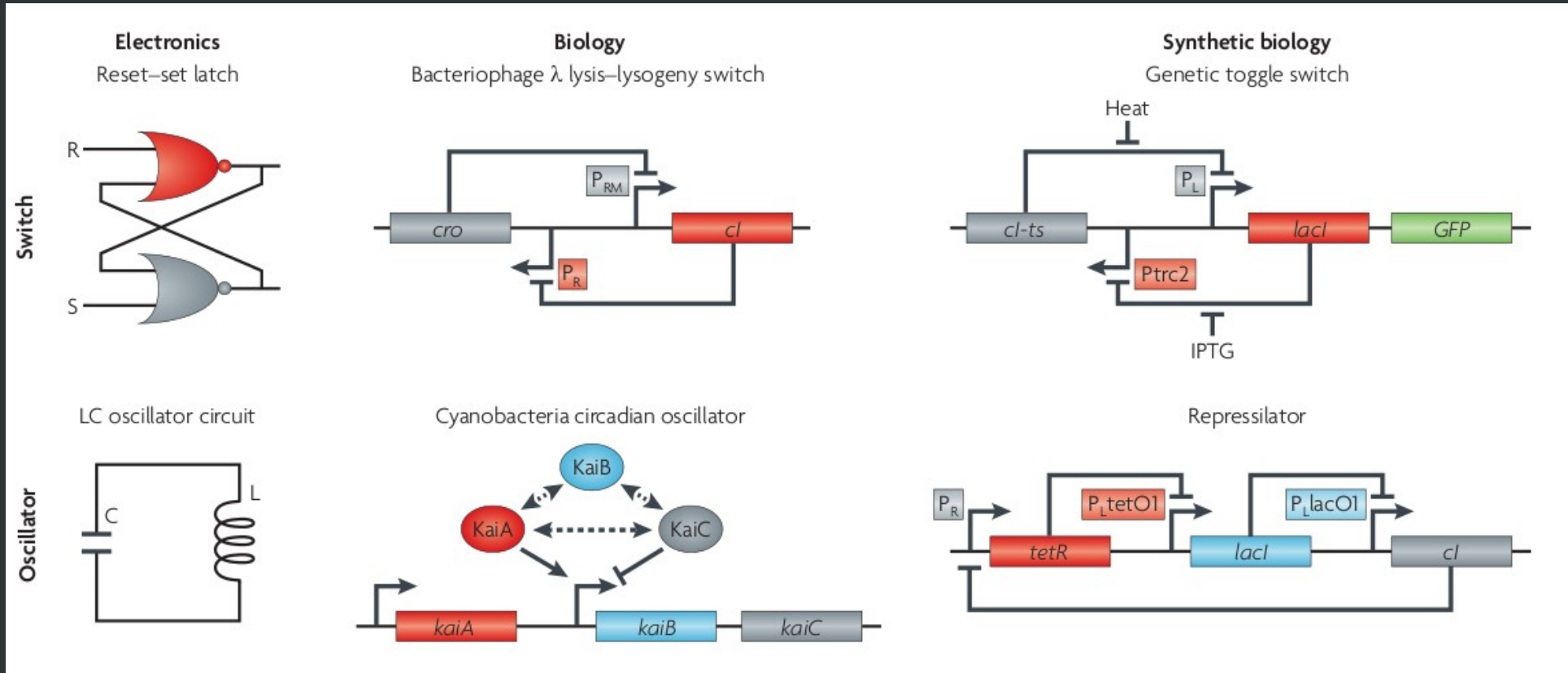
Biologie Synthétique



- Robust multicellular computing using genetically encoded NOR gates and chemical 'wires'. by Alvin Tamsir, Jeffrey J. Tabor & Christopher A. Voigt. Nature 469 212–215 (13 January 2011).*



Biologie Synthétique



- *Synthetic biology: applications come of age.* Ahmad S. Khalil & James J. Collins. Nature Reviews Genetics 11, 367-379 (May 2010).

